4

De Claude's

Anfangsgründe der Physik.

Mit 100 in den Text gedruckten Holzschnitten.

München.

Christian Kaiser.

1856.

Inhalt.

Physik (θεωρια φυσικα) ist die Lehre von den Erscheinungen in der Natur. Alle Erscheinungen in der Natur haben ihren Grund in der Bewegung der Körper. Selbst die Ruhe eines Körpers ist die Wirkung einer Bewegungskraft, oder von Bewegungskräften. Man könnte daher die Physik auch die Lehre von der Bewegung in der Natur nennen. Bewegung ist Ortsveränderung. Diejenige Stelle im Raume, welche ein Körper einnimmt, heißt nämlich sein Ort. Lage oder Stellung eines Ortes nennt man die Beziehungen desselben zu andern Punkten im Raume. Ein Körper ist in Ruhe, wenn weder er noch seine Theile ihre Lage verändern. Er befindet sich in Bewegung, wenn er selbst oder seine Theile nach und nach verschiedene Orte im Raume einnehmen. Einen Körper nennen wir nämlich das, was einen bestimmten Raum einnimmt. Den Raum, den ein Körper einnimmt, nennen wir seinen Rauminhalt (Volumen). Mit der Größe seines Rauminhaltes ist auch zugleich die Größe des Körpers, — mit der Begrenzung seines Volumens ist auch zugleich die Gestalt eines Körpers bezeichnet. Ein Körper ist groß, wenn er einen großen Raum, — ein Körper ist klein, wenn er einen kleinen Raum einnimmt. Jeder Körper nimmt einen größeren Raum ein, als einzelne seiner Theile, in welche er zerlegt ist, oder in welche man ihn zerlegt denken kann. Denn jeder Körper ist theilbar, und auch seine Theile sind zerlegbar, bis sie eine Kleinheit erreicht haben, in welcher sie nicht mehr zertheilt werden könnten. Theile eines Körpers, welche keine weitere Theilung mehr zulassen, nennt man Atome, unzerlegbare Theile eines Körpers, seine kleinsten Theilchen. Der Raum, den Ein Körper einnimmt, kann nicht zugleich von einem andern eingenommen werden. (Man nennt dieses die Undurchdringlichkeit der Körper.) Auf diesem unumstößlichen Gesetz, das keinen Zweifel zuläßt, beruht eigentlich jede Ortsveränderung der Körper. Wenn nämlich in einem Zeitmo-

mente ein Körper einen größern Raum einnimmt, als vor demselben, so tritt für einen ihm nächsten oder die nächsten Körper die Nothwendigkeit ein, den Raum, den der erste Körper einzunehmen bestrebt ist, zu verlassen; — und wenn in einem Zeitmomente ein Körper einen kleineren Raum einnimmt, als vor demselben, so tritt im Gegentheile für einen ihm nächsten oder für die nächsten Körper die Nothwendigkeit ein, in den Raum, welchen der erste Körper durch seine Volumsverminderung leer zu machen bestrebt ist, einzutreten. Denn es giebt keinen absolut leeren Raum in der Welt.

Wenn ein Körper einen größeren Raum einnimmt, als er vorher eingenommen, also sein Volumen ein größeres, weiteres geworden ist, so sagen wir: der Körper hat sich ausgedehnt; — und wenn ein Körper einen kleineren Raum einnimmt, als er vorher eingenommen, sein Volumen also ein kleineres, engeres geworden ist, so sagen wir, der Körper hat sich zusammengezogen. Auf der Ausdehnung (expansio) und der Zusammenziehung (contractio) der Einen Körper beruhet die Ortsveränderung, die Bewegung anderer Körper. Das Vermögen aber, sich auszudehnen und zusammenzuziehen, müssen wir als jedem Körper und Körpertheil eigen betrachten, oder mit anderen Worten: die Bewegungskraft müssen wir als jedem Körper und Körpertheil innewohnend annehmen. Die bewegende Kraft kann nur im Raume, nicht außerhalb desselben wirken, sie muß also auch im Raume, kann nicht außerhalb des Raumes sich befinden. Der Raum ist aber von den Körpern angefüllt — da es keinen absolut leeren Raum gibt; — die im Raume wirkende Bewegungskraft kann daher nur auch in den Körpern selbst liegen. Bei den mit Willen sich bewegenden Geschöpfen, den Thieren, sehen wir unzweifelhaft von ihnen die Bewegung ausgehen. Bei den unorganischen Stoffen kann unserer Beobachtung nicht entgehen, daß den metallischen Körpern mehr die zusammenziehende, den luftförmigen Körpern mehr die ausdehnende Bewegungskraft innewohnt.

Wenn ein fester Körper in einem bis zu einem gewissen Grad erwärmten Zustand tropfbar flüssig oder luftförmig, oder ein tropfbar flüssiger Körper luftförmig wird, so können wir die Beobachtung machen, daß der ganze Körper, z. B. ein Stück Metall oder ein gewisses Maß Flüssigkeit, nicht sogleich, in seiner Ganzheit, in den tropfbarflüssigen oder luftförmigen Zustand versetzt wird, son-

dern allmählig Theil für Theil; und so können wir umgekehrt die Beobachtung machen, daß ein luftförmiger oder tropfbarflüssiger Körper, wenn er durch Kälte erstarret, d. i. fest oder tropfbar flüssig wird, in diesen Zustand nicht sogleich, sondern ebenfalls nur allmählig, Theil für Theil geräth. Daraus läßt sich schließen, daß es der Körper Theile, seine kleinsten Theile, seine Atome sind, welche sich auszudehnen und zusammenzuziehen fähig sind, und daß ein Körper nur dadurch ein größeres oder kleineres Volumen anzunehmen im Stande ist, daß seine Atome, einzelne oder alle, in Ausdehnung oder Zusammenziehung sich befinden. Wenn wir oben sagten: auf der Ausdehnung oder Zusammenziehung der Einen Körper beruhet die Bewegung anderer Körper, so können wir also jetzt uns bestimmter so fassen: Auf der Ausdehnung oder Zusammenziehung der Körperatome beruhet die Bewegung der Körper.

A. Von der Bewegung im Allgemeinen.

Die Quelle aller Bewegung ist Ausdehnung oder Zusammenziehung der Atome der Körper.

Wenn ein Körper a sich ausdehnt und folglich einen größeren Raum, als vorher, einnimmt, so ist — weil der Raum, den Ein Körper einnimmt, nicht zugleich von einem anderen eingenommen werden kann — der Körper b genöthigt, entweder sich in dem Maaße, als der Körper a sich ausdehnt, zusammenzuziehen, oder seinen Ort zu verändern, sich so weit von dem Körper a zu entfernen, als dieser neuen Raum nöthig hat. Im ersten Falle ist die Ausdehnung Eines Körpers a die Ursache der Zusammenziehung, Erstarrung, eines andern Körpers b. Im zweiten Falle ist die Ausdehnung eines Körpers a die Ursache der Entfernung, Abstoßung eines andern Körpers b von ersterem.

Wenn hingegen der Körper a sich zusammenzieht und folglich einen kleinern Raum, als vorher, einnimmt, so ist der Körper b wegen der Undurchdringlichkeit der Körper gezwungen, entweder sich auszudehnen in dem Maaße, als der Körper a sich zusammenzieht, oder seinen Ort zu verändern, den Raum nämlich einzunehmen, den der Körper a durch seine Volumsverkleinerung leer gemacht hat, dem Körper a also näher zu rücken. Im ersten Falle

ist die Zusammenziehung des Einen Körpers a die Ursache der Ausdehnung, Erwärmung eines andern Körpers b. Im zweiten Falle ist die Zusammenziehung eines Körpers a die Ursache der Annäherung, der Anziehung eines anderen Körpers b.

Stoß ist also die Folge der Ausdehnung, worin die Abstoßungskraft — Zug die Folge der Zusammenziehung, worin die Anziehungskraft eines Körpers besteht.

Druck wird die Wirkung einer bewegenden Kraft genannt, welche nicht im Stande ist, einen Körper, auf den sie einwirkt, von seiner Stelle zu rücken, und wird veranlaßt enweder durch Stoß oder durch Zug.

Fortleitung der Bewegung durch Ausdehnung. Durch die Ausdehnung des Körpers a wird der Körper b von a abgestoßen, wenn sich b nicht zusammenzieht. Zieht sich aber b in dem Maaße zusammen, und vermindert in dem Maaße sein Volumen, als a sich ausdehnt und sein Volumen erweitert, so hat der sich zusammenziehende Körper b dem sich ausdehnenden Körper a so viel von seinem Raum überlassen, als a mehr bedarf; — es ist also kein Grund zur ferneren Bewegung vorhanden, es ist Ruhe eingetreten. Hat sich aber in Folge der Ausdehnung des Körpers a der Körper b nicht in sich zusammengezogen, sondern sein Volumen beibehalten, so wird b durch a von seiner Stelle gerückt, von a abgestoßen. Zieht sich nun der Nachbarkörper c auch nicht zusammen, so wird c von b ebenfalls aus seiner Lage gebracht, von b abgestoßen und so fort von c der Körper d, und so allmählig immer von dem vorhergehenden der nachfolgend sich nicht zusammenziehende Körper, bis endlich ein folgender Körper sich zusammenzieht und sein Volumen verkleinert in dem Maaße, als sein vorhergehender von seiner Stelle gerückte Nachbarkörper Raum nöthig hat. Die von dem sich ausdehnenden Körper a ausgehende Stoßbewegung wurde also von b zu c, von c zu d, und endlich von d zu n + 1 fortgepflanzet, bis 1 — n in dem Maaße sich zusammenzieht, als a sich ausgedehnt hat. Haben sich einer oder mehrere von den Körpern b + c + d + n nur um einen Bruchtheil der Größe des Raumes, den der sich ausdehnende Körper a in Anspruch nimmt, zusammengezogen, so wird der Körper 1 — n nicht in dem Maaße sich zusammenziehen d. i. sein Volumen verkleinern müssen, als a sein Volumen vergrößert hat, sondern nur um den Rest des von a

in Anspruch genommenen Raumes, den die nur zum Theil sich zusammenziehenden Körper b + c + d + n nicht leer gemacht haben. Haben sich die zwischen a und 1 — n gelegenen Körper b + c + d + n nicht zusammengezogen, so hat sich der Stoß, den b von a erlitten, in unverkleinertem Maaße bis zu 1 — n fortgepflanzt, d. i., 1 — n hat den Raum durch seine Zusammenziehung schaffen müssen, den a durch seine Ausdehnung in Anspruch nimmt. Haben sich aber die zwischen a und 1 — n gelegenen Körper b + c + d + n zum Theil zusammengezogen, so hat sich der Stoß, den b von a erlitten, in geringerem Grade bis zu 1 — n fortgepflanzt, 1 — n hat ihn nur zum Theil erhalten. Im ersten Falle sind die Körper b + c + d + n gute Leiter der Stoßbewegung, im letztern Falle schlechte Leiter derselben gewesen. Gute Leiter der Stoßbewegung, sowie der Bewegung überhaupt, sind also Körper von geringer, schwieriger Zusammenziehungsfähigkeit, schlechte Leiter Körper mit großer, leichter Zusammenziehungsfähigkeit.

Fortleitung der Bewegung durch Zusammenziehung. Durch Zusammenziehung des Körpers a wird der Körper b von a angezogen, wenn b sich nicht ausdehnt. Dehnt sich aber b in dem Maaße aus, als sich a zusammenzieht, so wird von b sogleich so viel Raum ausgefüllet, als a leer gemacht hat. Hat sich aber b in Folge der Zusammenziehung von a nicht ausgedehnt, so wird b in den von a freigemachten Raumantheil verlegt, und in den hiedurch leer werdenden Raum von b der Körper c, wenn c nämlich sich nicht ausdehnt, und so fort an die Stelle von c der Körper d und so fort n versetzt, bis endlich ein Körper 1 — n in dem Maaße sich ausdehnt, als a sich zusammengezogen hat, und Ruhe eintritt. In diesem Falle hat der Körper 1 — n denselben Grad von Anziehung erfahren, wie b oder c oder d oder n, — die Zugkraft hat sich in unverringertem Maaße von b bis zu 1 — n fortgepflanzet. Haben sich aber einer oder mehrere der zwischen a und 1 — n gelegenen Körper b + c + d + n um einen Bruchtheil des von dem sich zusammenziehenden Körper a freigewordenen Raumes ausgedehnt, so erfährt der Körper 1 — n nur so viel Anziehung von n, als der Rest des von den nur zum Theil sich ausdehnenden Körpern b + c + d + n noch nicht eingenommenen freien Raumes beträgt. Im ersten Falle waren die Körper b + c + d + n gute Leiter der Anziehungs- oder Zugkraft, im letzteren Falle schlechte Leiter der Zugkraft von a zu 1 — n. Gute Leiter der Anziehungskraft

oder der Zugbewegung sind also Körper mit geringer, — schlechte Leiter Körper mit großer Ausdehnungsfähigkeit.

Schwankung. Wenn der Körper a sich ausdehnt und den Körper b, welcher sich nicht zusammengezogen, gezwungen hat, seinen Ort zu verändern, also wenn der Körper a den Körper b von sich abgestoßen hat, aber a unmittelbar nachher sich wieder zusammenzieht, so ist der Körper b wieder gezwungen, an seinen vorigen Platz zurück zu kommen, d. i., b wird von a wieder angezogen. Oder wenn der Körper a sich zusammenzieht und den Körper b, welcher sich nicht ausgedehnt, gezwungen hat, seinen Ort zu verändern, also wenn a den Körper b zu sich angezogen hat, aber a unmittelbar nachher sich wieder ausdehnt, so ist der Körper b wieder gezwungen, an seinen vorigen Platz zurückzukehren, d. i., b wird von a wieder abgestoßen. So oft nun a sich ausdehnt, wird b von a abgestoßen, und so oft sich a wieder zusammenzieht, wird b wieder von a angezogen, d. i., b schwankt hin und her.

Fortleitung der Schwankung. Dadurch aber, daß der Körper b durch den dort sich ausdehnenden, hier sich zusammenziehenden Körper a von seiner Stelle verrückt, dort abgestoßen, hier angezogen wird, ist auch der Nachbarkörper c, der sein Volumen zu ändern eben nicht fähig ist, gezwungen, seinen Ort zu verlassen, sich zu entfernen oder zu nähern. Wird durch die unmittelbar auf die Ausdehnung erfolgte Zusammenziehung, oder durch die unmittelbar auf die Zusammenziehung erfolgte Ausdehnung des Körpers a der Körper b gezwungen, an seinen vorigen Platz zurückzukehren, dort sich wieder nähernd, hier sich wieder entfernend; — so wird auch der an b angrenzende Körper c gezwungen, wieder an seine vorige Stelle zurückzukehren. Und so wird die fortschreitende und rückkehrende, die abstoßende und anziehende Bewegung von einem Körper zu dem andern fortgeleitet, bis endlich die Reihe an einen Körper kömmt, der sich in dem Maaße und in dem entsprechenden Zeittheilchen zusammenzieht und dann sich wieder ausdehnt, als der Körper a sich ausgedehnt und dann sich wieder zusammengezogen, oder sich ausdehnt und dann sich wieder zusammenzieht, als a sich zusammengezogen und dann sich wieder ausgedehnt hat.

Anmerkung. Diese Hin- und Herbewegung wird bei festen Körpern Schwanken oder Schwingen, bei flüßigen Körpern die Wellenbewegung, bei luftförmigen Körpern Luftwelle, bei Atomen Erzittern, Vibriren genannt.

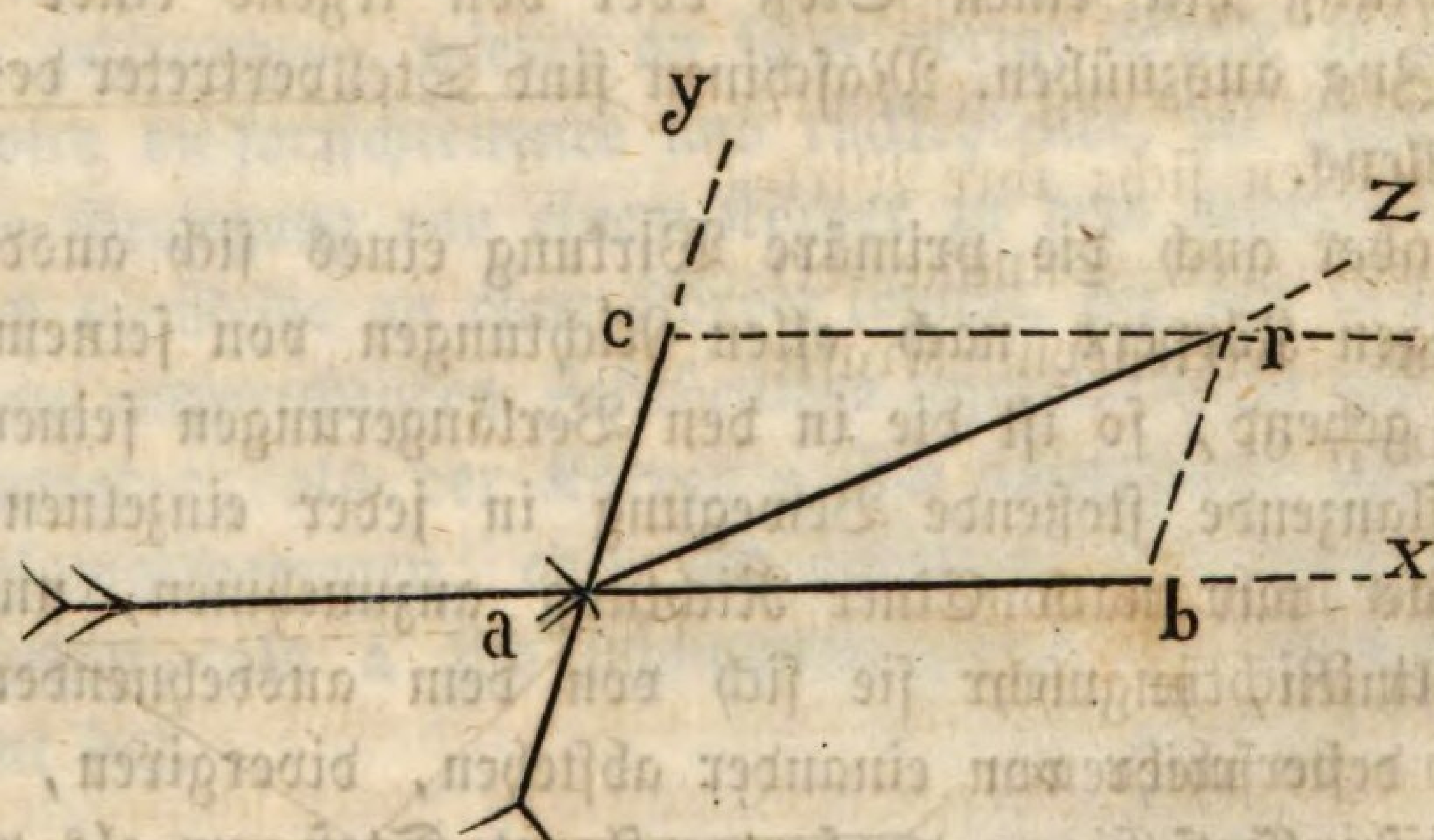
Richtung der Bewegung. Denken wir uns einen Körper oder ein Körpersatom kugelförmig, so wird, wenn er sich ausdehnt, und an seiner Peripherie kein Widerstand obwaltet, die Ausdehnungs-Bewegung von dem Mittelpunkte aus in die Verlängerung aller Radien die Richtung nehmen; sie ist centrifugal. Zieht sich aber ein kugelförmiger Körper zusammen, so ist die Bewegung eine centripetale, die Anziehungen, welche ein solcher Körper verursacht, fallen in die Radien und die Verlängerungen derselben. Ein nicht kugelig gestalteter Körper aber, wenn er sich ausdehnt oder zusammenzieht, vermag nicht nach allen Richtungen von seinem Mittelpunkt aus hin die stoßende oder anziehende Bewegung zu verbreiten, sondern nur nach einigen Richtungen hin. Setzen wir den Fall, daß er vermöge seiner Gestalt sich nur nach Einer Richtung hin ausdehnen kann, oder daß, wenn er sich auch nach allen oder mehreren Richtungen hin ausdehnen kann, nach allen Seiten hin mit Ausnahme nur Eines Punktes an seiner Peripherie sich auszudehnen gehindert wird, so wird die Ausdehnung desselben ihre Wirkung nur nach Einer Richtung hin äußern können. Die ausdehnende Wirkung z. B. des Wasserdampfes in einem Kessel äußert sich nach außen, da der Kessel ihm Widerstand leistet, nur nach der- oder denjenigen Richtungen hin, wo Oeffnungen in dem Kessel angebracht sind, aus denen der Dampf ausströmt. So bewirkt auch anderseits eine in einem Gefäße sich zusammenziehende, krystallisirende Körpermasse eine Anziehung, einen Einzug der Luft nur an einer und durch eine Oeffnung, welche das Gefäß hat. Menschen und Thiere sind gemäß ihrer Organisation befähigt, nach irgend einer Richtung hin einen Stoß oder von irgend einer Richtung her einen Zug auszuüben. Maschinen sind Stellvertreter des menschlichen Willens.

Ist aber auch die primäre Wirkung eines sich ausdehnenden kugelförmigen Körpers nach allen Richtungen von seinem Mittelpunkt hin gehend, so ist die in den Verlängerungen seiner Radien sich fortpflanzende stoßende Bewegung in jeder einzelnen Radialrichtung als nur nach Einer Richtung anzunehmen, und da die Richtungslinien, je mehr sie sich von dem ausdehnenden Körper entfernen, desto mehr von einander abstehen, divergiren, so ist in einer gewissen Entfernung der fortgepflanzte Stoß nur als von Einer Richtung her wahrnehmbar. Dasselbe gilt, nur verkehrt, bei einem sich zusammenziehenden Körper, dessen Anziehungskraft in einer ge-

wissen Entfernung an Einem Punkte nur nach Einer Richtung hin bemerkbar wird.

Treffen die von einem sich ausdehnenden nicht kugelig gestalteten Körper, oder von zwei an verschiedenen Stellen sich befindlichen sich ausdehnenden Körpern ausgehende und fortgeleitete Stoßbewegungen, oder von einem sich zusammenziehenden nicht kugelig gestalteten Körper, oder von zwei an verschiedenen Stellen existirenden sich zusammenziehenden Körpern ausgehende Zugbewegungen in einem Punkte zusammen, convergiren sie, oder mit andern Worten: wirken zwei oder mehrere Bewegungskräfte zugleich auf Einen Punkt, so können sie diesem Punkte doch nur eine einzige Bewegung in Einer bestimmten Richtung mittheilen. Das Resultat der von verschiedenen Richtungen auf einen Punkt wirkenden Kräfte ist die Bewegung nur nach Einer Richtung. Die von verschiedenen Richtungen her auf Einen Punkt wirkenden Kräfte sind daher als eine Vereinigung von Kräften zu betrachten, um auf Einen Punkt nach einer bestimmten Richtung zu wirken. Diese Vereinigung von Kräften wird die Resultirende, Kraft nämlich, genannt. In Bezug auf sie nennt man die einzelnen Kräfte die Seitenkräfte, und die Gesammtheit dieser ein System von Kräften.

„Die Resultirende zweier gleichzeitig unter einem Winkel auf Einen Punkt wirkenden Kräfte fällt in die Diagonale des Parallelogramms, welches man aus den Bahnen construiren kann, die jeder der Seitenkräfte entsprechen.“ Dieses Gesetz, unter dem Namen des Parallelogramms der Kräfte bekannt, ergibt sich klarer aus folgender Betrachtung:



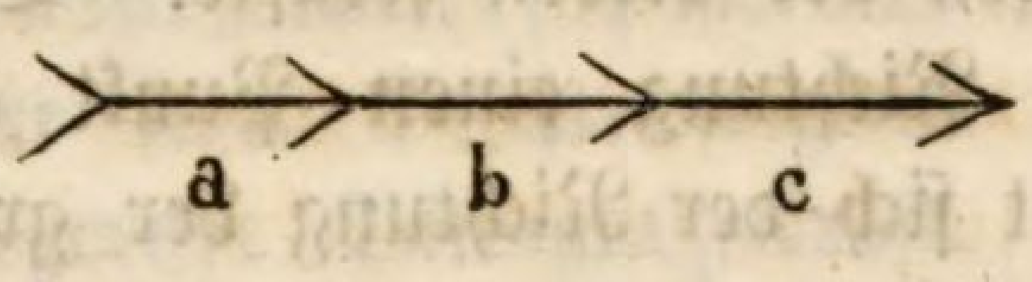
Auf den Punkt a wirken gleichzeitig zwei Kräfte, die eine nach der Richtung a x, die andere nach der Richtung a y. Die eine

Kraft für sich allein würde nun in einem bestimmten Zeittheilchen z. B. einer Sekunde den Punkt a nach b bewegen, und die andere für sich allein in gleicher Zeit von a nach c. Hörte in dem Momente, also z. B. nach einer Sekunde, in welchem der Punkt a in b ankommt, die eine Kraft a x zu wirken auf, und würde a von nun an eine Sekunde lang der andern in der Richtung a y wirkenden Kraft ausgesetzt, so würde a in r ankommen. Dieß ist nun dasselbe, wenn a der gleichzeitigen Einwirkung der beiden nach a x und a y wirkendeu Kräfte Eine Sekunde lang ausgesetzt ist. Das ist: die Diagonale a r des Parallelogramms a b r c der beiden Seitenkräfte a x und a y ist die Resultirende dieser letzteren in ihrer Wirkung auf a. — Um die Resultirende mehrerer Seitenkräfte zu finden, bedarf es nur jene von zweien zu suchen, alsdann sucht man die Resultirende der eben gefundenen beiden ersten Kräfte und einer dritten Kraft, — alsdann die Resultirende erstens der eben gefundenen Resultirenden des ersten Paares und der dritten Kraft, und zweitens der vierten Kraft u. s. f.

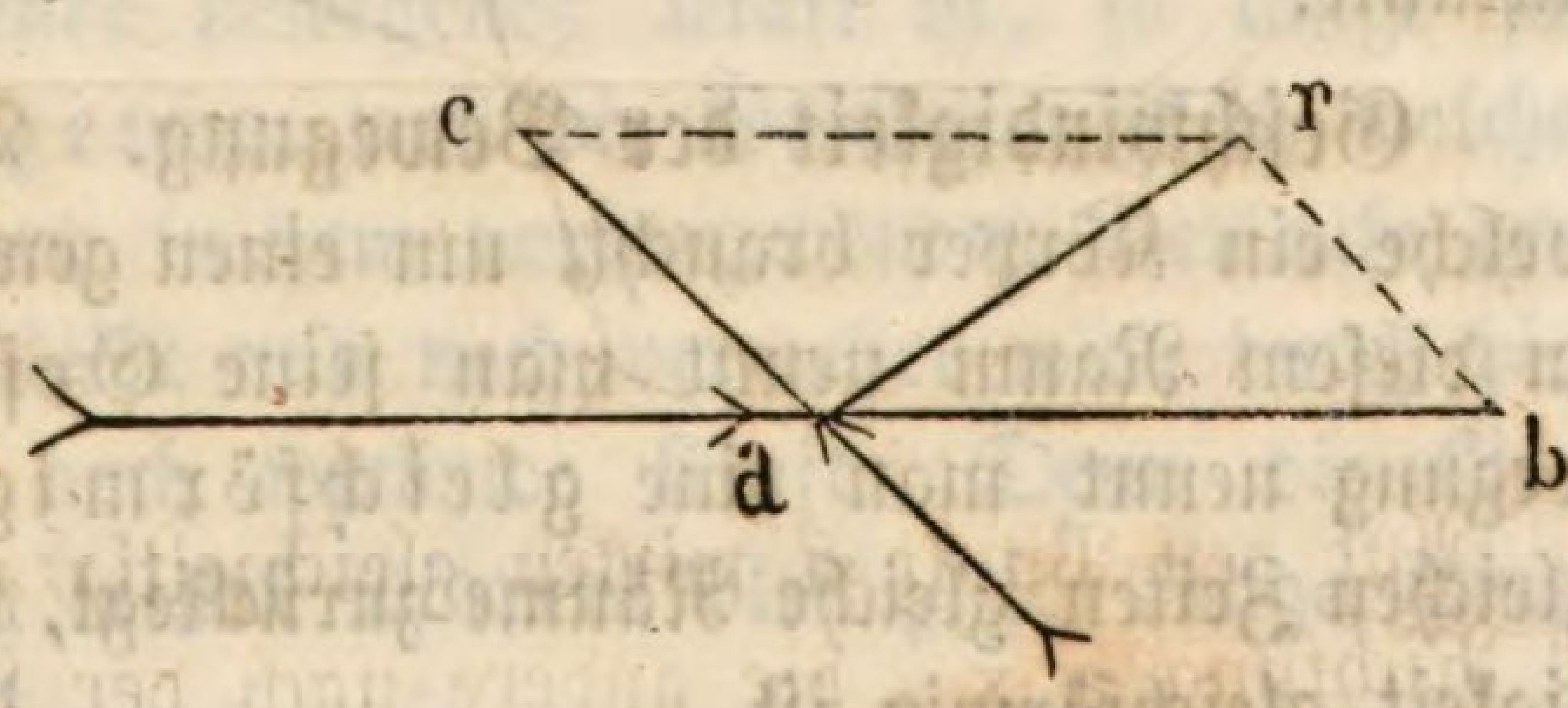
Weil zwei Kräfte durch eine einzige der Resultirenden ersetzt werden können, so kann man umgekehrt für eine Kraft auch zwei andere substituiren, deren Resultirende gleich ist der Einen Kraft.

Größe der Kraft. Je größer die Ausdehnung eines Körpers in einem gewissen Zeittheilchen ist, desto stärker ist der Stoß, der dadurch erzeugt wird, und je bedeutender die Zusammenziehung eines Körpers in einem bestimmten Zeitmomente ist, desto stärker ist die Anziehungskraft, die jener ausübt.

Zwei oder mehrere nach ein und derselben Richtung wirkende Kräfte verstärken sich; ihre Wirkung ist gleich der Summe der Größen der wirkenden Kräfte $r = a + b + c$.

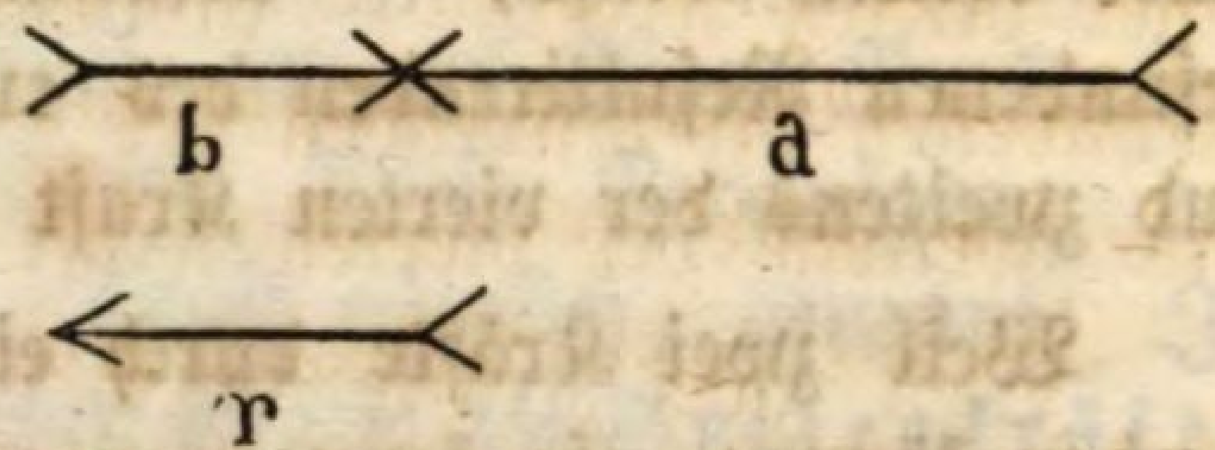


Zwei oder mehrere von verschiedener Richtung her oder nach verschiedenen Richtungen hin auf Einen Punkt wirkende Kräfte verstärken sich einander, wenn



sie auf den Punkt in einem kleinern als rechten Winkel treffen a r > a b, jedoch nicht in dem Maaße, daß die Kraftstärke der Resultante gleich ist der Summe der Seitenkräfte. Treffen die Seitenkräfte in einem größeren als rechten Winkel, also stumpfen zusammen, so verringern sie ihre Kraftstärke, so daß die Kraftstärke der Resultante kleiner ist, als jene der stärkern der einzelnen Kräfte a r < a b. Treffen zwei Kräfte einen Punkt in einem Winkel von 180 Graden, so heben sich beide Kräfte, wenn sie gleich stark sind, einander auf.

Gleichgewicht der Kräfte. Zwei Kräfte, welche von entgegengesetzter Richtung aufeinander wirken, d. h. auf einen Punkt in einem Winkel von 180 Graden treffen, und ihre Wirkung gegenseitig aufheben, sind sich gleich.



Zwei Kräfte sind ungleich, wenn sie von entgegengesetzten Richtungen auf einen materiellen Punkt in einem Winkel von 180 Graden wirken und dieser Punkt verrückt wird. Die Eine Kraft ist um so stärker, je weiter der Punkt von ihr weg und näher der entgegengesetzt wirkenden Kraft verrückt wird — oder um so schwächer, je näher der Punkt ihr und je entfernter er der andern gerückt wird. Die Resultirende zweier solcher von entgegengesetzter Richtung her auf einen Punkt wirkender Kräfte ist gleich der Differenz der beiden Kräfte $r = a - b$, und die Resultirende wirkt in der Richtung der größeren der beiden Kräfte. Die Resultirende zweier von verschiedener Richtung einen Punkt in einem Winkel treffenden Kräfte nähert sich der Richtung der größeren Kraft, und die Diagonale des Parallelogramms der Bahnen, welche in einem bestimmten Zeitmomente die beiden einzelnen Kräfte für sich durchlaufen würden, bezeichnet nebst der Richtung auch die Größe der Stärke der Resultante.

Geschwindigkeit der Bewegung. Das Verhältniß der Zeit, welche ein Körper braucht, um einen gewissen Raum zu durchlaufen, zu diesem Raum nennt man seine Geschwindigkeit. Die Bewegung nennt man eine gleichförmige, wenn ein Körper in gleichen Zeiten gleiche Räume zurücklegt, d. i., wenn seine Geschwindigkeit gleichförmig ist.

Die Bewegung ist ungleichförmig, wenn ein Körper in gleichen Zeiten ungleichgroße Räume zurücklegt, oder gleiche Räume in ungleichen Zeittheilen. Legt der Körper in den folgenden der gleichen Zeiten größere Räume als in den vorhergehenden Zeittheilen zurück, so heißt die Bewegung eine beschleunigte. Legt der Körper aber in den folgenden der gleichen Zeitabschnitte einen kleineren Raum zurück, als in den vorhergegangenen, so heißt die Bewegung eine verzögerte. Die beschleunigte Bewegung ist die Folge einer beschleunigenden, die verzögerte Bewegung die Folge einer verzögernden Kraft.

Die Geschwindigkeit der Bewegung überhaupt hängt ab:

1) von der Stärke der bewegenden Kraft (s. oben),
2) von der Kleinheit des Widerstandes, welchen der zu bewegende Körper der Bewegungskraft entgegensetzt, und
3) von der Entfernung des zu bewegenden Körpers von der Bewegungskraft, und
4) von der Andauer der bewegenden Kraft.

Je stärker die bewegende Kraft, desto größer die Geschwindigkeit der hiedurch erzeugten Bewegung; und je geringer der Widerstand, den ein Körper der bewegenden Kraft entgegensetzt, desto größer die Geschwindigkeit, mit der er sich bewegen läßt. Je näher ein Körper der bewegenden Kraft ist, desto größer ist die Geschwindigkeit, mit der er bewegt werden kann, — je entfernter von ihr, desto geringer. Je näher z. B. ein Körper dem ihn anziehenden (sich zusammenziehenden) Körper kommt, desto geschwinder bewegt er sich. Die anziehende Kraft ist also eine beschleunigende Bewegungskraft. Je mehr sich ein Körper von dem ihn abstoßenden (sich ausdehnenden) Körper entfernt, desto langsamer wird seine Geschwindigkeit. Die abstoßende Kraft ist also eine verzögernde Bewegungskraft. Die Wirkung nimmt im Quadrat der Entfernung eines Körpers von der Bewegungskraft ab, und im Quadrat der Annäherung zu. (Den Beweis hiezu siehe unten bei den Fallen).

Jede andauernd wirkende bewegende Kraft ist, so lange sie andauert, eine beschleunigende, weil die Geschwindigkeit, welche ein Körper am Anfange und in dem vorhergehenden Verlaufe der Zeitdauer erlangt, diesem bleibt und noch vermehrt wird durch die in dem späteren Verlauf noch wirkende Kraft. Denn die Geschwindigkeit der Bewegung eines Körpers bleibt, so lange keine andere Kraft entgegen wirkt.

Da kleinere Körper einen kleineren Raum einnehmen, also der Bewegungskraft mit der Gesammtheit ihrer Theilchen näher seyn können, als größere Körper, so folgt auch, daß die Geschwindigkeit, mit der sie sich bewegen, eine auch größere ist, als die Geschwindigkeit größerer Körper (bei sonst gleichen Verhältnissen). Die verschiedenen Theilchen eines Körpers von einem gewissen Umfange nämlich sind dem Ursprunge der Kraft, welche auf den Körper ortsverändernd einwirkt, verschieden weit entfernt. Die der Richtung, von der die Kraft herwirkt, näherliegenden werden von der Bewegungskraft stärker ergriffen werden, als die ihm entfernter liegenden. Da nun die der Kraftquelle zunächst und näher liegenden Theilchen durch die Zusammenhangskraft an die entfernter und am entferntest liegenden Theilchen des Körpers festgehalten werden, so bildet die Summe der Kraftintensität, mit welcher der ganze Körper zu gleicher Zeit in Bewegung gesetzt wird, das Mittel zwischen der Intensität der Kraft, welche das dieser zunächst liegende Theilchen besitzt, und zwischen jener des entferntesten Theilchens. Die Bewegung der näher liegenden Theilchen wirkt auf die Bewegung der entfernter liegenden beschleunigend, — die Bewegung der entfernter auf jene der näher liegenden verzögernd ein. Ist die Kraftintensität, welche das zunächst liegende Theilchen erleidet, gleich 1, und die Kraftintensität des entferntest liegenden, z. B. wenn der Körper aus einer Million Theilchen bestünde, $= \frac{1}{1000000}$ so wäre das Mittel der Kraftintensität, mit welcher der ganze Körper bewegt wird, $= \frac{1}{500000}$ der Kraftintensität des zunächst liegenden Theilchens. Es ist nun klar, daß zur Bewegung eines kleineren Körpers eine geringere Kraft nöthig ist, als zur Bewegung eines größeren Körpers, — daß ein Theilchen, ein Atom eines Körpers sich leichter und schneller bewegt, als der ganze Körper. Wissen wir daher die Bewegungsgeschwindigkeit zweier Körper, so läßt sich auch berechnen, um wie viel größer oder kleiner der Eine ist als der Andere. Durch Beobachtung weiß man, daß das Licht in einer Sekunde 49,700 Meilen, und die Reibungs-Elektricität 60,000 Meilen fortgeleitet wird. Die Körperchen nun, welche durch ihre Bewegungen das Licht fortleiten, müssen also $\frac{60000}{49700} = 1\frac{123}{600}$ mal größer seyn, als die Körperchen, welche die elektrische Kraft fortleiten. Und ein Elektricität fortleitendes Kör-

perchen wird $\frac{60000 \times 7416}{340} = \frac{444960000}{340} = 1308705\frac{15}{17}$ mal kleiner seyn, als die Luftmenge einer Luftschallwelle, oder $\frac{60000 \times 7416}{5440} = \frac{444960000}{5440} = 81794\frac{640}{5440}$ mal kleiner, als die feste Holzmasse, deren Schwingung den Schall fortleitet, weil der Schall in einer Sekunde durch die Luft 340 Meter (von denen 7416 auf eine deutsche Meile gehen) und durch festes Holz 5440 Meter durchläuft. Die Licht leitenden Körper sind demgemäß auf $\frac{49700 \times 7416}{340} = \frac{368575200}{340} = 1084044\frac{12}{17}$ mal kleiner als die Luftschallwellenmenge und um $253637\frac{639}{1453}$ mal kleiner als die Wassermengen, welche in Einer Sekunde durch ihre Schwingungen den Schall 1453 Meter fortleiten.

Widerstand der Körper. Den Widerstand, welchen ein in Bewegung zu setzender Körper einer auf ihn einwirkenden Kraft entgegensetzt, nennt man seine Trägheit. Der Widerstand der Körper gegen eine auf sie einwirkende Kraft beruhet auf dem Umstand, daß solche Körper schon von einer andern Kraft festgehalten oder in Bewegung versetzt sind. Ist letztere stärker, als die neu auf ihn einwirkende Kraft, so ist der Körper in dem Falle, dieser zu widerstehen.

B. Von den Bewegungen insbesondere.

I.

Von der Wärme und Kälte.

Begriff von Wärme und Kälte. In unserm Gemeingefühl unterscheiden wir Wärme und Kälte, und wir nennen einen Körper warm, wenn er in uns oder in Theilen unseres Leibes das Gefühl von Wärme, wir nennen ihn kalt, wenn er in uns das Gefühl von Kälte verursachet. Wir wissen ferner: ein Körper, der erwärmt wird, dehnt sich aus, — und ein Körper, der erkaltet, zieht sich zusammen. Wenn ein Körper sich ausdehnt, z. B. ein tropfbarflüssiger verdunstet, so wird die Umgebung des

verdunstenden, sich ausdehnenden Körpers abgekühlt. Und wenn ein Körper sich zusammenzieht, z. B. ein tropfbarflüssiger krystallisirt, so wird seine Umgebung warm. Wir nehmen ferner wahr, daß, wenn ein zusammengezogener Körper sich ausdehnt, er warm wird, — und wenn ein ausgedehnter Körper sich zusammenzieht, er kalt wird. Wir messen den Grad der Wärme dadurch, daß wir beobachten, um wie viel gewisse Körper, z. B. Quecksilber, Wasser, Aether durch die Umgebung der Körper, deren Temperatur (Wärmestand) wir erfahren wollen, mehr ausgedehnt werden, als andere.

Anmerkung. Der gebräuchlichste Wärmemesser, Thermometer, ist eine mit Quecksilber angefüllte Glasröhre, aus welcher die Luft durch Erhitzung und Sieden des Quecksilbers ausgetrieben und welche in dem Momente des Siedens des Quecksilbers an dem einen offenen Ende zugeschmolzen worden ist. Bei Wiedererkalten des luftdicht in der Glasröhre verschlossenen Quecksilbers zieht sich dieses zusammen, und nimmt einen kleineren Raum ein. Der übrige Raum in der Glasröhre bleibt luftleer. Steckt man den mit Quecksilber angefüllten Theil der Glasröhre in Eis im Momente des Gefrierens des Wassers, so wird die Stelle, bis zu welcher die Quecksilbermasse sich zusammengezogen hat, an der Glasröhre mit Diamant angemerkt. Steckt man das Thermometer in kochendes Wasser, so dehnt sich das Quecksilber wieder aus, steigt in die Höhe der Glasröhre, und diesen Punkt bezeichnet man ebenfalls. Der Glasröhrentheil zwischen dem Gefrierpunkt und dem Siedepunkt wird in gleiche Theile eingetheilt. An dem Réaumur'schen Thermometer ist dieser Theil in 80, bei dem Celsius'schen in 100, bei dem Fahrenheit'schen in 180 Grade abgetheilt. Folgende Tabelle diene zur leichteren Vergleichung dieser drei Thermometerscalen.

Celsius	Réaumur	Fahrenheit
— 20	— 16	— 4
— 10	— 8	+ 14
0	0	32
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212

Die Ursache dieser Ausdehnung wird Wärme genannt. Wir haben oben gezeigt, daß, wenn ein Körper a sich zusammenzieht, dadurch die hiebei eintretende Raumfreigebung der Nachbarkörper b, wenn er auf seiner Stelle verbleiben soll, gezwungen ist, sich auszudehnen.

Wärme und Ausdehnung des Einen Körpers haben also einerlei Ursache und auch einerlei Wirkung, nämlich die Zusammenziehung oder die Erkaltung eines andern Körpers. Wir halten daher Wärme und Ausdehnung für analogue Begriffe und für gleiche Zustände, Ausdehnung für den damit bezeichneten Zustand an sich, Wärme für den damit bezeichneten Zustand für sich in Bezug auf das Gefühl, welches der sich ausdehnende Körper haben kann. Wir sind und fühlen uns warm, wenn die Zellen unseres Leibes sich ausdehnen, — wir sind und fühlen uns kalt, wenn dieselben sich zusammenziehen. Wir haben dem Stoff die Fähigkeit, sich auszudehnen und zusammenzuziehen, vindicirt, wir haben gesehen, daß die Ausdehnung des Einen Körpers oder Körpertheilchens die Ursache der Zusammenziehung eines anderen, sowie die Erwärmung des Einen die Ursache der Erkaltung des andern, und daß die Zusammenziehung des Einen Körpers oder Körpertheilchens die Ursache der Ausdehnung eines andern, sowie die Erkaltung des Einen die Erwärmung des andern ist; — wir sind nun an dem, die Wärme als die Atomenausdehnung eines Körpers erklären zu können. Einen eigenen Wärmestoff, einen unwägbaren Stoff, imponderabile, anzunehmen, wie es geschah und noch geschieht, halte ich für nicht nöthig. Die Wirkungen und die Entstehung der Wärme lassen sich möglicher Weise auch ohne einen eigenen hypothetischen Wärmestoff erklären.

Freie und gebundene Wärme. Wenn ein Körper a durch einen andern b erwärmt wurde, so sagt man: in dem Körper b ist Wärme frei geworden, welche von dem Körper a aufgenommen, absorbirt wurde. Wenn ein Körper a durch einen andern b erkaltet, so sagt man: der Körper b hat von seinem Wärmestoff verloren, und a hat ihn absorbirt. Einen Körper, der erwärmen kann, nennt man einen Körper mit viel Wärmestoff begabt, und weil die darin enthaltene Wärme für uns und das Thermometer nicht fühlbar war, dieselbe eine verborgene, latente oder die gebundene. Nach unserm Begriff beruht die Latenz einer größeren oder geringeren Menge von Wärme in der größern oder geringern Möglichkeit und Fähigkeit eines bestimmten Körpers, daß seine Atome sich zusammen=

ziehen, und das **Freiwerden** von Wärme in dem Umstande, daß durch die Atomenzusammenziehung eines Körpers Raum freigegeben, oder leerer Raum entsteht, in welchen die Atome unseres Körperumfanges einzutreten und daher sich auszudehnen genöthigt sind.

Beispiele von Wärmeerzeugung. Die einfachste, bisher noch nicht erklärte Wärmeerzeugung ist, wenn Körper durch Druck oder Reibung warm gemacht werden. Ein eiserner Radschuh z. B. erhitzt sich beim Fahren oft so, daß er zischt, wenn er mit Wasser in Berührung kömmt; die Metalle werden beim Hämmern, die Münzen beim Prägen warm; das Reiben trocknen Holzes erzeugt solche Wärme, daß das Holz sich davon entzündet (Entzündungstemperatur).

Die Reibung ist nämlich ein wiederholter unterbrochener Druck. Durch den Druck werden die Atome des gedrückten Körpers gezwungen, sich auf einen kleinern Raum zu beschränken, also sich zusammen zu ziehen. Im Momente nun des Aufhörens des Druckes, im Moment der Freiheit von dem Drucke, werden die Atome ihren nun wieder freigegebenen, früher eingenommenen Raum einzunehmen streben, ja sie werden sich, dem Grade der erlittenen Zusammenziehung entsprechend, mehr auszudehnen streben, mehr Raum einzunehmen streben, als sie vor der Reibung eingenommen haben. Sie werden, sich ausdehnend, warm. Um zwei Stücke trockenen Holzes durch Reibung so weit zu erwärmen, daß sie sich entzünden, ist es nöthig, daß während beharrlich schnell fortgesetzten Reibens die geriebenen Flächen so fest aneinander gedrückt gehalten werden, daß zwischen ihnen keine Luft eindringen kann. Denn die Luft würde sonst in die entstandenen freien Räume eintreten und die rasche Ausdehnung der Holzatome verhindern. Bei langsamer Ausdehnung könnten sich die Holzatome nicht in dem Grade ausdehnen, um die sogenannte Ausdehnungstemperatur, d. i. denjenigen Grad der Ausdehnung der brennbaren Holzstoffatome, z. B. des Holzwasserstoffes zu erreichen, welcher, wie wir bei der Verbrennungstheorie sehen werden, nöthig ist, um den Sauerstoff der Luft zu condensiren, zusammen zu ziehen, und sich mit ihm zu verbinden.

Da sich Flüssigkeiten durch mechanische Mittel nicht viel zusammendrücken lassen, so können sie auch nach vorhergegangener Compression keinen bedeutend höheren Ausdehnungsgrad, keine bedeutende Temperaturerhöhung erlangen. Bei Luftarten, welche sehr zusammendrückbar sind, ist es schon im höheren Grade der Fall. Also nicht durch oder während des Druckes werden die Körper in

höhere Temperatur versetzt, sondern unmittelbar nach Aufhören des Druckes dehnen sich ihre Atome aus, werden warm. Die Erzeugung von Wärme durch oder nach dem Drucke und Reibung kann man zugleich als einen Beweis ansehen, daß nicht die Wärme Ursache der Ausdehnung, sondern umgekehrt die Ausdehnung Ursache der Wärme ist, — daß nach der Ausdehnung erst der Wärmezustand eintritt, die Wärme Folge der Ausdehnung ist.

Die gewöhnlichste Wärmeerzeugung geschieht durch Verbrennung von Holz und anderem sogenannten Brennmaterial. Das Holz wird beim Verbrennen in Ausdehnung versetzt, zur Vergasung gebracht. Das mit Kohlentheilchen geschwängerte Wasserstoffgas des Holzes verbindet sich mit dem Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft zu Wasser, d. h. verbrennt. Diese Verbindung, Verbrennung, geht an dem äußern Umfang der Flamme vor. Durch die Ausdehnung des Wasserstoffes des Holzes werden die Atome der atmosphärischen Luft genöthigt, wegen Druckausübung der sich ausdehnenden Wasserstoffatome, wegen Raumbeschränkung, sich zusammenzuziehen. Die Zusammenhangsverhältnisse der aus Sauerstoff und Stickstoff bestehenden Luftatome werden geändert und es verbinden sich die sich zusammenziehenden Sauerstoffatome der Luft mit den sich ausdehnenden Wasserstoffatomen des Holzes zu einem dichtern, also weniger Raum einnehmenden Stoff, zu Wasser. Hiedurch wird nun in der die Flamme umgebenden atmosphärischen Luft Raum frei, welchen die Atome der zufällig in derselben Atmosphäre befindlichen Körper einzunehmen genöthigt sind, z. B. des Topfes, der auf oder an der Flamme steht, und des Wassers, welches in ihm enthalten ist, — des eine Flamme einschließenden Ofens, der Zimmerwände, welche die zusammengezogen werdende Luft einschließen, und der in den Zimmern sich befindenden lebenden Wesen. Je näher der Flamme sich diese Gegenstände so zu sagen ihre Atome befinden, desto mehr und eher werden sie ausgedehnt, d. i. erwärmt. Durch eine Flamme wird ein anderes Brennmaterial z. B. Holz oder eine Kerze angezündet, wenn diese in das Bereich der durch die Flamme zusammengezogenen Luftatome kommen, und zwar so nahe als möglich. Ehe noch das Holzstückchen oder der Kerzendocht die Grenze der Flamme oder diese selbst berühret, werden die Atome jener in Ausdehnung, in Entzündungswärme versetzt und fangen zu brennen an, ohne die Flamme berühret zu haben. An der Grenze der Flamme ist die Zusammenziehung der Luftatome, die Raumfreigebung und die

Gelegenheit, sich auszudehnen, am größten. In der Höhle eines Flammenkegels, in Mitte der Flamme brennt kein Gegenstand an. Wenn gebrannter kohlensaurer Kalk mit Wasser beschüttet wird, so verbindet sich unter Entweichung der Kohlensäure das Wasser mit dem Kalk. Bei dieser Verbindung der beiden Stoffe Kalk und Wasser zu Kalkhydrat wird so viel Raum frei, in welchen die Atome der das Kalkhydrat umgebenden Körper eintreten und sich ausdehnen oder, wie gewöhnlich gesagt, so viel Wärme entwickeln, daß ein Theil des oben aufgeschütteten Wassers siedet, verdunstet und sogar Schwefel, in die Nähe gebracht, entzündet werden kann.

Wenn man in einer langsam bewirkten und allmählig abgekühlten Schmelzung von Glaubersalz (unterschwefeligsaurem Natron) ein Thermometer stehen läßt, und man das bisher ruhig gestandene Gefäß, in dem das geschmolzene Salz sich befindet, etwas erschüttert oder in dasselbe ein Stückchen krystallisirten Salzes fallen läßt, so geht die Krystallbildung in der geschmolzenen Salzmasse aufs neue vor sich und rasch von statten, und das Thermometer steigt um 18—20 Grade. Die Zusammenziehung der Glaubersalzatome erzeugt leere Räume, in welche die Atome des Quecksilbers des Thermometers eintreten und sich ausdehnen können.

Beispiele von Kälteerzeugung. Wenn man Aetherflüssigkeit auf die Hand tröpfelt, so verdunstet sie sogleich, verwandelt ihre tropfbarflüssige in eine luftige Form, — die Aetheratome sind ausgedehnt worden und nehmen also einen größern Raum in Anspruch. Ihre Nachbaratome der Haut unserer Hand sind genöthigt, auf einen kleineren Raum sich einzuschränken, müssen sich daher zusammenziehen und wir haben das Gefühl von Kälte an der Stelle, worauf der Aether geträufelt wurde.

Durch Abdünstung des Wassers im luftverdünnten Raume kann ein Theil des noch nicht in Dunstform umgewandelten Wassers zum Gefrieren gebracht werden. Die sich ausdehnenden, verdünstenden Wasseratome erheischen mehr Raum, als in ihrer vorigen flüssigen Gestalt, und ein anderer Theil der noch tropfbarflüssigen Wasseratome ist hiedurch genöthigt auf einen kleinen Raum sich zu beschränken, daher sich zusammenzuziehen, zu gefrieren. (Wenn auch gefrorenes Wasser, Eis, einen größern Raum einnimmt, als flüssiges Wasser, so beruhet dieses auf dem weniger Aneinandergeschlossenseyn der krystallisirten Wasseratome, und der Ausfüllung der Zwischenräume zwischen den einzelnen Atomen mit atmosphärischer Luft

während des Gefrierens; — nichtsdestoweniger aber sind die Eisatome selbst von geringerem Volumen als die Atome des flüssigen Wassers, so daß eine gleiche Menge der größern flüssigen Wasseratome einen kleinern Raum einzunehmen hat, als die gleiche Menge von kleineren krystallisirten Eisatomen.)

Das merkwürdigste Beispiel von Kälteerzeugung und zugleich ein Beweis, daß die Ausdehnung oder die Wärme eines Körpers den Nachbarkörper nicht warm sondern kalt macht, ist folgender Fall: Wird in einen im Glühen, also in der Ausdehnung seiner Atome begriffenen Metalltiegel eine kleine Menge Wasser gegossen, jedoch so, daß das hineintröpfelnde Wasser nicht in das Bereich der Atmosphäre nahe der Flamme unter dem Tiegel geräth, so kocht oder verdunstet das Wasser in dem glühenden Tiegel nicht, sondern bildet darin eine Kugelform, kugelt im Tiegel herum, das Wasserkügelchen wird nicht wärmer, sondern kälter, dehnt sich nicht aus, sondern zieht sich zusammen. (Es kann auf ähnliche Weise sogar Quecksilber zum Gefrieren gebracht werden.) Man nennt dieses den sphäroidischen Zustand, und sucht den Grund darin, weil keine Anziehung der Flüssigkeit zu dem glühenden Metall des Tiegels, oder, wie man zu sagen pflegt, keine Benetzung stattfindet. Es kann keine Anziehung von Seite des glühend gemachten, sich ausdehnenden Metalls stattfinden, weil seine Atome eben in Ausdehnung und nicht in Zusammenziehung begriffen sind, und weil, wie wir wissen, nur ein sich zusammenziehendes Atom Raum frei gibt, in welchen ein Nachbaratom eintreten kann, während ein sich ausdehnendes Atom mehr Raum nöthig hat und also das Nachbaratom zwingt, um den nöthigen Raum zu verleihen, sich zusammenzuziehen, oder wenn nicht dieß, sich von ersterem zu entfernen. Sobald aber die Flamme, welche den Metalltiegel zum Glühen erhitzte, entfernt wird, das Metall also aufhören muß, sich fortwährend auszudehnen, und anfängt, sich abzukühlen, d. i. sich zusammenzuziehen, kocht und verdunstet sogleich die Wasserkugel im Tiegel. Die Metallatome des Tiegels ziehen sich nach der Entfernung der Flamme zusammen, und die Wasseratome können sich nun ausdehnen.

Fortleitung der Wärme. Die Wärme, d. i. die Atomenausdehnungsbewegung leitet sich von einem Atom zu dem andern fort, so lange die Wärmeerzeugung d. i. die Atomenzusammenziehung in der Nähe im Gange ist. Wird nämlich durch diese immerfort neuer Raum leer, und ist das der Wärmequelle nächstgelegene Atom

oder die nächste Reihe von Atomen nicht im Stande das Mehr des leerwerdenden Raumes völlig auszufüllen, so rückt das erste schon ausgedehnte Atom näher der Wärmequelle und das zweitnächste dehnt sich aus; — und so fort rücken die zwei ersten ausgedehnten Atome näher und das dritte dehnt sich aus, — und so fort alle übrigen so lange und so viele, als die Wärmeerzeugung andauert. Hört die Zusammenziehungsbewegung der Wärmequelle auf, erlischt die Flamme, so hört auch das fernere Leerwerden von Raum auf, das an das zuletzt sich ausgedehnt habende Atom angrenzende bleibt in seinem Zustande, wie bisher, indifferent, — und nachdem kein Grund weiterer Ausdehnung vorhanden ist, streben alle ausgedehnten Atome wieder in ihren vorigen Zustand, so viel ihnen wieder möglich, zurückzukehren. Die Einen können schneller, die andern langsamer sich zusammenziehen. Diejenigen Atome ziehen sich wieder am schnellsten zusammen, welche am wenigsten sich ausgedehnt haben, — man nennt Körper mit solchen Atomen gute Wärmeleiter; — und diejenigen, die sich mehr und langsamer ausgedehnt haben, ziehen sich auch wieder langsamer zusammen, — man nennt Körper mit derartigen Atomen schlechte Wärmeleiter.

Durch dieses Wiederzusammenziehen der ausgedehnt wordenen Atome, welcher Trieb in jedem Stoff, mehr in den festen, weniger in den flüssigen und luftförmigen Körpern, gelegen ist, wird, wie vorher durch die erste Wärmequelle, die Flamme, abermals dem Nachbarkörper leerer Raum geboten, abermals eine Wärmequelle geschaffen. Dieses ist der Fall, wenn z. B. wir uns in ein warmes Bad setzen. Das erwärmte, atomenausgedehnte Badewasser fängt nämlich an, nachdem es von dem Feuer entfernt ist, sich wieder abzukühlen, seine Atome fangen an sich wieder zusammenzuziehen, und während dieser Zeit des Zusammenziehens der Atome des Badewassers dringen die Atome unserer Haut in die leeren Räume, welche die sich zusammenziehenden Wasseratome geschaffen haben, und dehnen sich aus, so daß wir Wärme in der Haut fühlen. Je rascher die Zusammenziehung der Wasseratome stattfindet, desto wärmer werden wir. Hört das raschere Zusammenziehen allmählig auf, so fühlen wir weniger Wärme, und bei einem gewissen Grad finden unsere Atome keinen leeren Raum mehr, also keinen Grund zur ferneren Ausdehnung, es tritt Lauheit, Indifferenz ein, und endlich sind unsere ausgedehnten Atome genöthigt, sich nicht mehr ausdehnen könnend, sich wieder zusammenzuziehen, — wir fühlen

alsdann uns kalt. Damit ist der Zeitpunkt eingetreten, wo das Wasser alsdann durch unsern Leib wieder warm gemacht wird. Ein Thermometer, in das warme Wasser gesteckt, ist in demselben Fall, wie unsere Haut; — wie diese durch die Ausdehnung ihrer Atome in uns das Gefühl der Wärme erregt, so zeigt das Thermometer durch das Steigen der Quecksilbermasse in die Höhe der Röhre das Ausgedehntwerden der Quecksilberatome an, welches der Ausdehnung der Atome des Glases unmittelbar nachfolgt.

Wenn wir ein Stück Eis mit dem Finger berühren, so fühlen wir ein Brennen auf unserer Haut anfänglich, — nach kurzer Zeit aber Kälte. Dasselbe, nur in noch höherem Grade, ist bei durch Kompression erzeugtem Kohlensäureschnee der Fall. Anfangs sind die Atome des Eises noch in Zusammenziehung begriffen, so daß die Atome unserer Haut sich ausdehnen müssen, heiß werden und brennen; — durch die Berührung unseres Fingers geräth aber das Eis in das Bereich der Wirkung des Verbrennungsprocesses unseres Blutes, und fängt also an zu schmelzen, d. i. seine Atome dehnen sich aus. Mit Eintritt des Flüssigwerdens des Eises, des sich Ausdehnens seiner Atome fühlen wir auf der Haut unseres Fingers kalt.

Wenn man Ein Pfund Schnee von Nullgrad und Ein Pfund Wasser von 79 Grad (Celsius) miteinander mischt, so schmilzt der Schnee, und man erhält zwei Pfund Wasser von Nullgrad. Bei der Annahme eines Wärmestoffs pflegt man zu sagen, alle Wärme, welche in dem heißen Wasser enthalten war, ist beim Schmelzen des Schnees von diesem absorbirt worden, und man nennt, wie oben schon erwähnt, die für den Thermometer und unser Gefühl spurlos verschwundene Wärme eine gebundene, latente Wärme. Man konnte sich bis jetzt keine Rechenschaft geben, warum die Wärmemenge von 79 Graden sich nicht zu der Wärme des Wassers von Nullgrad addirte, also von Einem Pfund Schnee und Einem Pfund Wasser von 79 Grad man nicht zwei Pfund Wasser von 79 Grad Wärme bekömmt? Deßhalb ließ man die Wärme sich verstecken. Bekennt man sich zu unserer oben aufgestellten Theorie der Wärme als einer Atomenausdehnungsthätigkeit des Stoffes, so geräth man nicht in die Verlegenheit einer neuen Hypothese. Die Atome des Pfundes Wasser von 79 Grad, wenn es aus dem Bereich der Flamme gebracht ist, ziehen sich zusammen, und geben Raum frei. Diesen Raum, welchen die Atome des heißen Wassers

durch ihre Zusammenziehung frei geben, nehmen die Atome des Pfundes Eises ein, zur Ausdehnung genöthiget. Der Raum nun, der durch die Zusammenziehung der Atome Eines Pfundes Wassers von 79 Grad bis auf Nullgrad leer gemacht worden ist, ist gleich dem Mehr des Raumes, das die Atome des Pfundes Eises nöthig haben, wenn sie aus dem starren in den flüssigen Zustand treten.

Specifische Wärme. Man nennt die Wärmemenge, oder nach unserer Theorie, die Raumeserweiterung, welche nöthig ist, um die Temperatur von Einem Pfund Wasser um Einen Grad zu erhöhen, eine Wärmeeinheit, und die Wärmemenge, durch deren Aufnahme die Gewichtseinheit eines Körpers um einen Temperaturgrad erwärmt wird, in Wärmeeinheiten ausgedrückt, die Wärmecapacität oder die eigenthümliche, specifische, Wärme eines Körpers. Diese ist nach der Beobachtung bei verschiedenen Körpern verschieden. Jeder Körper nämlich besitzt eine eigenthümliche Atomenausdehnungs- und Zusammenziehungskraft, welche von der anderer Körper verschieden ist. Die Atome verschiedener Körper werden also, um dieselbe Ausdehnung oder Zusammenziehung der Quecksilberatome, den Thermometerstand, oder auf unserer Haut denselben Wärme- oder Kältegrad hervorzubringen, von Seite ihrer Umgebung auch ein verschiedenes Maß von Raumfreigebung oder Raumbeschränkung nöthig haben.

Schmelzung. Den Uebergang aus dem festen Zustand eines Körpers in den flüssigen nennt man Schmelzung. Der eine Körper bedarf von Seite seiner Umgebung eine größere, der andere eine kleinere Summe von leerem Raum für seine sich auszudehnenden Atome. Man sagt gewöhnlich: der eine Körper hat eine größere Wärmemenge vonnöthen, der andere eine geringere, um zu schmelzen. Der Zeitpunkt des Schmelzens, der Schmelzpunkt ist bei verschiedenen Körpern ein verschiedener. Hingegen steht aus der Erfahrung fest: jeder Körper hat seinen bestimmten nie sich verändernden Schmelzpunkt, der Uebergang nämlich aus dem festen in den flüssigen Zustand findet bei jedem einzelnen Körper stets bei derselben Temperatur statt.

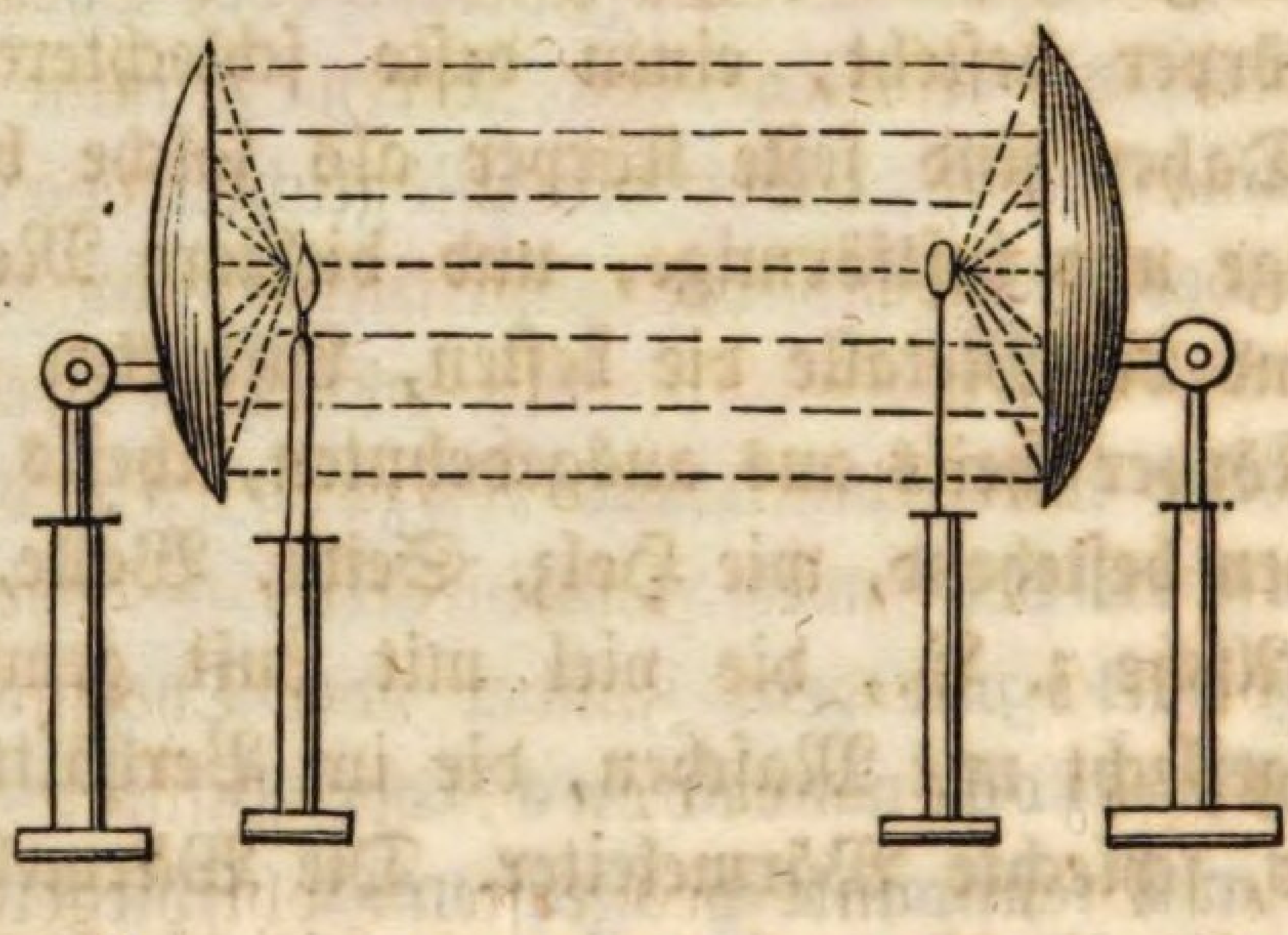
Eine zweite äußerst wichtige Erfahrung ist, daß während des Schmelzens die Temperatur sich nicht ändert, wie viel Wärme auch in den Körper eindringen mag. Man hat sich dieses scheinbare Räthsel zu lösen gesucht, indem man annahm, daß die zuströmende Wärme absorbirt, darin versteckt werde. Nach unserer

oben angeführten Ansicht von der Leitung der Wärme dehnen sich die schon ausgedehnten Atome vor der Hand nicht weiter aus, so lange noch unausgedehnte oder weniger ausgedehnte Atome in der Masse vorhanden sind, — die schon ausgedehnten verändern ihren Platz, und in den von ihnen verlassenen Räumen erst haben die noch nicht ausgedehnten Atome Gelegenheit, sich auszudehnen. In denselben Leitungsvorgang sind auch die Atome des Quecksilbers und Glases des in den schon geschmolzenen Theil eingetauchten Thermometers gezogen, — sie bilden Glieder in der Leitungskette. Erst nachdem die ganze Masse geschmolzen ist, erst nachdem die Totalsumme aller Atome sich in so weit ausgedehnt haben, so daß die Masse flüssig ist, — erst dann dehnen sich die Atome der flüssigen Masse noch mehr aus, und fangen an, zu verdunsten, eines nach dem andern in Luftform überzugehen.

Gute und schlechte Wärmeleiter. Aus je mehr zusammengezogenen und je weniger ausgedehnten Atomen ein Körper besteht, einen desto besseren Wärme-, Ausdehnungsbewegungs-Leiter gibt er ab. Aus je weniger zusammengezogenen und je mehr ausgedehnten Atomen ein Körper besteht, einen desto schlechteren Wärmeleiter gibt er ab. Daher sind feste Körper als solche bessere Wärmeleiter als flüssige und luftförmige, und dichtere Massen besser als poröse. So sind die Metalle die besten, Luftarten die schlechtesten Wärmeleiter. Körper theils aus ausgedehnten, theils aus zusammengezogenen Atomen bestehend, wie Holz, Seide, Wolle, Haare, Stroh oder Pulver, Asche z. B., die viel mit Luft gemischt sind, und dünnes Metallgeflecht mit Maschen, die im Verhältniß zur Metallmasse groß sind, schlechte Wärmeleiter. Die Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers z. B. ist 95 mal geringer, als die des Kupfers. Die Atome der leicht ausdehnbaren Körper nehmen nämlich die durch die Wärmequelle hervorgebrachten leeren Räume selbst ein, indem sie ihren Umfang vergrößern, — und haben sich die in porösen Körpermassen enthaltenen Luft- oder Wasseratome ausgedehnt und die leeren Räume ausgefüllt, so strömen bei immer fortdauernder Wärmeerzeugung immer neue Luft- und Wasseratome aus der Atmosphäre, mit welcher die Poren der porösen Körper in Verbindung stehen, ein, und die Porenwand, aus zusammengezogenen weniger leicht expansiblen Atomen bestehend, bleibt mehr oder weniger unberührt von der Wärmebewegung. So dehnt sich auch leichter jedes einzelne Wasseratom so viel als möglich aus, wird Dunst, und

jedes Luftatom dehnt sich eher bis zum höchsten Grad aus, eintretend in den leergewordenen Raum, als es von der Stelle rückt und den Nachbaratomen die Wärmethätigkeit mittheilet. Eine Menge Wasser in einem Topf, welcher der Einwirkung einer Flamme ausgesetzt ist, würde unverhältnißmäßig lange Zeit nöthig haben, um zu kochen, wenn nicht die untersten an dem Boden und die an den Seitenwänden des Topfes anliegenden zuerst ausgedehnten Wasseratome als leichtere von den obern noch kalten und weniger ausgedehnten und also schwereren von ihrem Platz verdrängt werden und in die Höhe steigen würden, während die kalten in die Tiefe sinken. (Eine ein Meter hohe und $1/5$—$2/5$ Meter im Durchmesser haltende Wassersäule, welche man von oben her durch beständige Erneuerung darüber liegenden heißen Wassers zu erwärmen suchte, bedurfte dreißig Stunden bis sie gleich warm geworden.)

Wärmestrahlen. Wenn man zwei große sphärische oder parabolische Hohlspiegel von polirtem Messingblech 5 bis 6 Meter von einander entfernt so aufstellt, daß die Axen beider Spiegel in Eine



Linie zusammenfallen, — wenn man alsdann in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Stück Zunder, in den Brennpunkt des andern eine fast weißglühende Eisenkugel oder eine glühende Kohle bringt, so wird sich der Zunder alsbald entzünden. Bringt man an den Brennpunkt des Einen Hohlspiegels irgend einen warmen Körper und an den Brennpunkt des andern Hohlspiegels anstatt des Zünders einen Thermometer, so zeigt dieser durch Steigen eine höhere Temperatur an. Daraus folgerte man, daß ein warmer Körper eben so Strahlen auswerfe, wie ein leuchtender Körper, daß es also sowie Lichtstrahlen auch Wärmestrahlen gebe. Wie könnte sonst ein warmer Körper in Entfernung auf einen andern Körper erwärmend wirken, da die zwischen beiden befindliche Luft

ein schlechter Wärmeleiter ist? Alles genau betrachtet und bedacht, ist das Ergebniß eines größern Wärmegrades an dem Brennpunkt des dem brennenden oder heißen Körper entgegengesetzten Hohlspiegels nicht eine Ausstrahlung von dem wärmeerzeugenden Körper, sondern es geht eine Bewegung in einer der Lichtstrahlung entgegengesetzten Richtung vor sich. Der brennende oder heiße Körper verursacht durch den Verbrennungsproceß oder durch seine Abkühlung, dort durch Verbindung seiner Atome mit den Sauerstoffatomen der Luft, hier durch die alleinige Zusammenziehung seiner eigenen Atome bei der Abkühlung einen leeren Raum, — in diesen müssen die Atome der Luft im Bereich des einen Hohlspiegels treten, und in die nun leeren Räume des Hohlspiegels treten succesive die Atome der Luft zwischen den beiden Hohlspiegeln, zuerst die dem Hohlspiegel mit dem brennenden oder glühenden Körper nahen, dann die entfernten und zuletzt die im zweiten Hohlspiegel liegenden Atome. In die nun leeren Räume des zweiten Hohlspiegels müssen die im Brennpunkt dieses liegenden Atome treten. Die Atome an diesem zweiten Brennpunkt aber sind die des Zunders oder Thermometers, — diese sind genöthigt die entstehenden leeren Räume auszufüllen, müssen sich ausdehnen, und daher die Möglichkeit des Entzündens des Zunders und des Steigens des Quecksilbers im Thermometer. Der Brennpunkt des ersten Hohlspiegels mit dem brennenden oder heißen Körper ist der Mittelpunkt der Anziehung von dem ganzen Luftraum zwischen den zwei Hohlspiegeln, — der Brennpunkt des andern Hohlspiegels mit dem Zunder oder Thermometer ist der Mittelpunkt des Angezogenwerdens, der Punkt, auf dem sich die Wirkung der im Brennpunkt des ersten Hohlspiegels befindlichen Anziehungskraft concentrirt. Was zu dem Brennpunkt des ersten Hohlspiegels hingezogen wird, wird von dem Brennpunkt des zweiten Hohlspiegels weggezogen. Es ist gerade der umgekehrte Fall des Leuchtens, — hier wird von dem Brennpunkt des ersten Hohlspiegels mit dem leuchtenden Körper das Licht auf den ersten Hohlspiegel, von diesem auf den zweiten ihm entgegengesetzten Hohlspiegel, von diesem zweiten auf seinen Brennpunkt hingeleitet, — alles Licht von dem leuchtenden Körper, alle Lichtstrahlen desselben werden am Brennpunkt des Gegenhohlspiegels concentrirt. Ein leuchtender Körper strahlet aus, — ein wärmender Körper strahlet nicht aus, sondern er verursacht, daß andere Körpersatome bei ihm einstrahlen. Es giebt daher eigentlich, sowie Lichtstrahlen, keine Wärmestrahlen.

Wärmeschirm. Für die Wärmeausstrahlung wird gewöhnlich auch als Beweis angeführt, daß, wenn man zwischen dem heißen oder brennenden Körper und dem Thermometer oder unserem Leib einen Schirm — Wärmeschirm, z. B. Ofenschirm — stellt, wir an derselben Stelle die Hitze oder Wärme nicht mehr fühlen, wo wir sie vor dem Dazwischenstehen des Schirmes gefühlt haben. Allein der Schirm verhindert eben so gut, als er eine Bewegung, Ausstrahlung, von dem Feuer hinter dem Schirm zu uns zu gelangen abhält, auch, daß die zur Verbrennung nöthigen Sauerstoffatome nicht mehr gerade von uns weggezogen werden, wie vor dem Dazwischenstehen des Schirms. Wir kommen durch den Schirm hinter die Zuglinie der von dem verbrennenden Körper angezogenen Sauerstoffatome. Von zwischen dem Wärme erzeugenden Körper und dem Thermometer angebrachten Schirmen kann man ferners nicht sagen, sie werfen die Wärme zurück, reflektiren sie, — sondern ein solcher Schirm beschränkt das Bereich der Anziehung eines Wärmefactors, und die in diesem beschränkten Bereich enthaltenen Atome müssen die Anziehungskraft des brennenden Körpers intensiver fühlen, als vorher bei unverkürzter Linie der Anziehung, der Bewegungsleitung.

Wärmedurchlassende Körper. Nicht alle festen Körper, wenn sie als Schirme benützt werden, schneiden die Wirkung der Anziehung einer Wärmequelle ab, sondern manche haben die Eigenschaft, die Anziehungskraft durchwirken zu lassen. Man nennt sie, analog den durchsichtigen, diaphanen, Körpern, diathermane Körper. Unter diesen ragt das Steinsalz hervor, — Flußspath und Spiegelglas sind ebenfalls, obwol schwächer, aber als die nächstbesten bis jetzt erkannt worden. Es sind dieses halbgute oder halbschlechte Wärmeleiter, Stoffe aus Atomen bestehend, welche weniger ausgedehnt, also mehr zusammengezogen als die Flüssigkeiten, aus denen sie sich krystallisirt haben, sind, aber, wenn auch nicht so dicht aneinandergelagert, wie in der Mutterlauge, dennoch fester aneinanderhängend. Sie sind leichter ausdehnbar als Metallatome, aber schwerer als Flüssigkeitsatome. Sie pflanzen der Ordnung ihrer gegenseitigen Stellung gemäß die Anziehungskraft von der Wärmequelle nach bestimmter gerader Linie fort, während die Metalle mehr von allen Richtungen her sich anziehen lassen. So kommt es, daß die Atome der Körper hinter Steinsalz- oder Spiegelglasplatten schneller in das Bereich der Anziehung einer Flamme gebracht wer-

den, so daß es scheint, Wärmestrahlen gehen durch sie hindurch. Eine ungünstige oder verkehrte Lagerung der Atome durch geänderte Stellung der Schirmplatten hebt die Fähigkeit des Durchwirkens der Anziehungskraft der Wärmequelle wieder auf.

II.

Von der chemischen Verbindung und Scheidung der Atome.

In der Lehre von der Wärme und Kälte ist erläutert worden, daß durch die Zusammenziehung der einen Atome eine Ausdehnung anderer Atome, — und durch die Ausdehnung der einen Atome eine Zusammenziehung anderer Atome hervorgerufen wird. Wir setzen voraus, daß die Atome verschiedenartiger Körper auch eine verschiedengradige Zusammenziehungs- und Ausdehnungskraft besitzen, und ich glaube, keinen Irrthum zu begehen, in der verschiedengradigen Zusammenziehungs- und Ausdehnungskraft der Atome die Eigenthümlichkeit der Körper zu erkennen. Wenn nun die Atome zweier verschiedenartiger Körper oder, im Falle, daß ein Körper aus verschiedenartigen Atomen besteht, wenn verschiedenartige Atome durch ein und dieselbe Ursache andauernd in Ausdehnung versetzt werden, so ist zu erwarten, daß die Atome von der einen Art sich mehr ausdehnen, als die Atome der andern Art, weil jene eine größere Ausdehnungsfähigkeit als diese besitzen. In dem Zustand der Ausdehnung verhalten sich zwei Atome gegenseitig abstoßend zu einander, weil ja jedes mehr Raum in Anspruch nimmt. Mit der Ausdehnung ist daher den Atomen die Möglichkeit gegeben, sich von einander zu scheiden, zu trennen. Treten neue Verhältnisse ein, welche eine Zusammenziehung zweier ungleichgradig ausgedehnter Atome zu gleicher Zeit bedingen, so werden sich die zwei Atome, welche während ihrer Ausdehnung sich von einander geschieden haben, sich gegeneinander abstoßend verhielten, sich auch in ungleichem Grade zusammenziehen, werden also nebeneinander selbstständig, unvereiniget, stehen. In diesem Falle haben sich zwei vorerst verbundene Atome von einander geschieden, — eine einfache chemische Scheidung. In dem Zustande der Zusammenziehung verhält sich ein Atom zu einem andern Atom anziehend, weil es Raum frei gibt. Sind von zwei Atomen das eine eben im Zustande der Ausdehnung, das andere im Zustande der Zusammenziehung begriffen,

so wird das letztere das erstere an sich ziehen, in sich aufnehmen — jenes macht ja eben bei sich Raum für dieses frei —; beide verbinden sich, vereinigen sich. Dieß ist eine einfache chemische Verbindung. Sind von drei Atomen zwei in verschiedengradiger Ausdehnung und das dritte zwischen beiden in Zusammenziehung begriffen, so zieht das dritte von den sich abstoßenden beiden andern dasjenige an sich, welches in dem Grade sich ausgedehnt hat, in dem sich das dritte zusammengezogen hat, oder welches in seiner Ausdehnung dem Grade der Zusammenziehung des einen dritten Atomes näher kommt, als das andere den beiden. Dieß ist eine chemische Verbindung durch Wahlverwandtschaft, — das eine dritte Atom hat nämlich eine größere Verwandtschaft zu dem einen Atom, mit dem es sich verbindet, als zu dem andern, mit dem es sich nicht verbindet, weil es sich mit jenem eher verbunden.

Sind von vier verschiedenartigen Atomen zwei in Ausdehnung und zwei in Zusammenziehung begriffen, sowol die ersteren in verschiedenem Grade ausgedehnt, als auch die beiden andern in verschiedenem Grade in der Zusammenziehung begriffen, so ziehen die in der Zusammenziehung begriffenen Atome je eines von den in Ausdehnung begriffenen Atomen an, dasjenige immer nämlich, welches eben mit dem Grade seiner Ausdehnung dem Grade seiner Zusammenziehung näher kömmt, als das andere. Ist es nun der Fall, daß von den vier Atomen je zwei vorher miteinander verbunden waren, und daß je eines der beiden in Ausdehnung versetzt wordenen Atome mit einem andern der beiden sich zusammenziehenden Atome vorher vereiniget war, als bei der neueren Vereinigung, so ist dieß ein Beispiel der chemischen doppelten Wahlverwandtschaft.

Befindet sich ein in der Zusammenziehung begriffenes Atom unter anderen mehreren in gleichgradiger Ausdehnung begriffenen gleichartigen Atomen, so kann jenes während seiner Zusammenziehungsthätigkeit von den sich ausdehnenden Atomen so viele an sich und in den Kreis seines vorhergegangenen Umfanges während seiner Ausdehnung ziehen, als es freien Raum geben kann. Dieß ist der Grund von der Verbindung eines Stoffes mit einem andern in verschiedenen Verhältnissen, so daß ein Atom des einen Stoffes sich unter gewissen Umständen nur mit einem, oder mit zwei, oder mit drei, vier oder sechs u. s. f. Atomen eines andern Stoffes (Elementes, einfachen, bis jetzt noch nicht zerlegten Stoffes) verbinden kann. Die Verbindung eines in der Zusammenziehung

begriffenen Atoms mit einem oder mehreren andern sich ausdehnenden gleichartigen Atomen hängt sowol von dem zur Zeit stattfindenden Zusammenziehungsgrade des Einen Atoms als auch von dem Ausdehnungsgrade der andern Atome ab, so daß es kommt, daß unter gewissen Umständen, z. B. einem bestimmten Wärmegrade, ein Stoff in einfachem, unter andern Umständen, z. B. erhöhtem Wärmegrade, in zweifachem oder mehrfachem Verhältnisse mit einem andern eine chemische Verbindung eingeht.

Auf ähnliche Weise kann ein in der Zusammenziehung begriffenes Atom zu gleicher Zeit mehrere in Ausdehnung begriffene ungleichartige Atome an sich ziehen und sich verbinden. Man nennt eine Verbindung von Atomen zweierlei Art eine binäre Verbindung, — eine Verbindung von Atomen dreierlei Art eine ternäre, und von viererlei Art eine quaternäre Verbindung. So sind Luft und Wasser binäre Verbindungen, jene aus Stickstoff und Sauerstoff, dieses aus Sauerstoff und Wasserstoff bestehend; — Weingeist eine ternäre Verbindung, aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehend; — und der Käsestoff eine quaternäre Verbindung, aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff bestehend.

Ein Beispiel von chemischer Verbindung in verschiedenen Verhältnissen zwischen zwei einfachen ungleichartigen Stoffen mögen die Verbindungen des Stickstoffes mit Sauerstoff geben. Nach Volumen berechnet besteht die atmosphärische Luft aus $\frac{1}{5}$ Vol. Sauerstoff und $\frac{4}{5}$ Vol. Stickstoff; — 1 Volumen Stickstoff mit einem halben Volumen Sauerstoff gibt eine Verbindung, welche Stickoxydul, — 1 Vol. Stickstoff und 1 Vol. Sauerstoff eine Verbindung, welche Stickoxyd, — 2 Vol. Stickstoff und 3 Vol. Sauerstoff eine Verbindung, welche salpetrige Säure, — 1 Vol. Stickstoff und 2 Vol. Sauerstoff eine Verbindung, welche Untersalpetersäure, — und 2 Vol. Stickstoff und 5 Vol. Sauerstoff eine Verbindung, welche Salpetersäure genannt wird.

Eine chemische Thätigkeit, d. h. ein Atomenausdehnungs- und Zusammenziehungsvorgang, der eine Trennung oder Verbindung verbundener oder getrennter ungleichartiger Atome zur Folge hat, wird eingeleitet entweder durch die gegenseitige Berührung zweier oder mehrerer verschiedener Stoffe, deren Atome in verschiedengradigem Ausdehnungs- und Zusammenziehungszustande sich befinden, so daß eine größere Ausdehnung eines Theiles der Atome des einen Stoffes eine größere Zusammenziehung eines Theiles von Atomen

des andern Stoffes hervorruft, welche sich alsdann miteinander verbinden, und bewirken, daß der andere Theil der Atome des einen oder der beiden Stoffe ausgeschieden werden, momentan um sich mit andern Atomen zu verbinden, oder wenn diese in ihrem Ausdehnungs- oder Zusammenziehungsgrade ihnen nicht entsprechen, für immer; — oder zweitens eine chemische Thätigkeit, Zerlegung in seine Atome und Verbindung mit andern oder in andern Verhältnissen untereinander, wird eingeleitet dadurch, daß ein in chemischer Thätigkeit, in Trennung oder Verbindung seiner Atome, in Atomenausdehnung und Zusammenziehung begriffener Stoff durch Raumsuchen oder Raumfreigeben in einem andern Stoff eine Atomenzusammenziehung oder Ausdehnung hervorbringt. Ein Beispiel für den ersten Fall ist das Verbrennen des Phosphors im Dunklen, d. i. seine Verbindung mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft oder mit reinem Sauerstoff. Der Phosphor verhält sich zusammenziehend und daher anziehend zu dem Sauerstoff, den er ausdehnt, um alsdann ihn sich zu verbinden, ihn sich einzuverleiben. Gegentheilig verhielt sich der Sauerstoff zu dem Phosphor ausdehnend, ihn also zur Zusammenziehung drängend. Ihre Verbindung ist die in weißem Dampf bestehende phosphorige Säure. In der atmosphärischen Luft hat er durch die hervorgerufene Ausdehnung eine Scheidung ihrer Bestandtheile in Sauerstoff und Stickstoff veranlaßt. Als Beispiel des zweiten Falles kann dienen, wenn durch einen Fermentstoff, einen in Verwesung, in Zersetzung in seine Bestandtheile begriffenen Stoff ein anderer, gährungsfähiger Stoff in Gährung, d. h. in den Proceß der Zersetzung in seine Bestandtheile gebracht wird, ohne daß Bestandtheile des Fermentstoffes sich mit Bestandtheilen des gährungsfähigen Stoffes verbinden. Die Ausdehnungs- und Zusammenziehungsbewegung eines in Zersetzung begriffenen Stoffes verursacht durch seine Berührung an einem andern gährungsfähigen Stoff eine Zusammenziehung und Ausdehnung der Atome des letztern.

III.

Von der Anziehungskraft.

Wenn ein Körper oder ein Körpersatom sich zusammenzieht, nimmt er oder es einen kleinern Raum ein, als vor der Zusammenziehung. Hiedurch wird Raum frei, — den leeren Raum müssen

die den zusammenziehenden Körper umgebenden Körper oder Atome ausfüllen, — und wenn sie eben nicht in der Möglichkeit sind, sich auszudehnen, sind sie genöthigt, von ihren Stellen, die sie inne haben, sich zu entfernen und an den zusammengezogenen Körper oder an das zusammengezogene Atom anzurücken. Darin besteht, wie schon in der Einleitung erwähnt, die Anziehungskraft der Körper und ihrer Theile.

Zieht sich ein Körper von allen Richtungen seines Umfanges her gleichmäßig zusammen, so übt er auch, hat er eine Kugelform, nach allen Richtungen hin eine gleichmäßige Anziehung auf die in die Verlängerung seiner Radien fallenden Nachbarkörper aus. Ist er von nicht kugeliger Form oder zieht er nicht von allen Richtungen seines Umfanges her sich gleichmäßig zusammen, so übt er auch auf seine Nachbarkörper keine gleichheitliche Anziehung aus. Zieht sich ein Körper nur von Einer oder einigen Richtungen seines Umfanges zusammen, so übt er nur nach Einer oder einigen Richtungen hin auf seine Nachbarkörper eine Anziehung aus.

Nehmen wir den Fall an, daß von einer Masse von kugelförmigen Atomen von gleichem Volumen Ein Atom in Mitte der übrigen sich zusammenzieht, so wird rings um dieses zusammengezogene Eine Atom ein leerer Raum entstehen. Nehmen wir an, daß alle übrigen Atome eben nicht in der Möglichkeit sich befinden, sich mehr auszudehnen, als sie schon sind, so müssen in den um das zusammengezogene Atom entstandenen leeren Raum von allen Richtungen her Atome einrücken, d. h. das Eine zusammengezogene Atom zieht alle es umgebenden Atome an sich. Nehmen wir ferner an, daß diese von dem Einen Atom angezogenen Atome sich ebenfalls zusammenziehen, so entstehen um alle dieselben an allen Punkten (mit Ausnahme des Punktes, an dem sich jene an das erste zusammengezogene Atom anlegen — man kann dieses das Centralatom nennen —) leere Räume. In diese müssen nun andere von den noch nicht zusammengezogenen Atomen allseitig einrücken, so daß also die von dem ersten zusammengezogenen Atom, dem Centralatom, angezogenen Atome ebenfalls wieder an allen Punkten ihres Umfanges mit Ausnahme an dem Punkt, an welchem sie an das Centralatom anhängen, andere noch nicht zusammengezogene Atome an sich ziehen. Ein Theil dieser zweiten Partie angezogener Atome hängt nun an den zusammengezogenen Atomen, welche von dem Centralatom angezogen worden sind, ein anderer Theil hängt in

den Zwischenräumen zwischen je zweien an dem Centralatom hängenden zusammengezogenen Atomen an dem Centralatom selbst. Stellen wir uns nun vor, daß alle Atome, welche angezogen worden sind, sich selbst wieder zusammenziehen und also wieder neue Atome an sich ziehen, bis etwa die Anziehungskraft an Atome kömmt, die sich nicht von der Stelle bewegen und sich mehr ausdehnen, so ist hiemit ein concentrisch angewachsener Körper entstanden, welcher aus sich gegenseitig anziehenden zusammengezogenen Atomen besteht. Diese durch die Zusammenziehung des Centralatoms und jene der von diesem dadurch angezogenen Atome, und durch die Zusammenziehung der ersteren angezogenen Atome und der nachfolgenden angezogenen Atome hervorgebrachte gegenseitige Anziehung der Atome eines Körpers heißt man nun die Zusammenhangs- oder Cohäsionskraft der Körper.

Cohäsion. Diese ist selbstverständlich größer, wenn die Zusammenziehung der einzelnen Atome größer ist, geringer, wenn diese geringer ist. Die Cohäsionskraft ist demgemäß am größten bei festen Körpern, besonders Metallen, geringer bei tropfbarflüssigen, und am geringsten bei luftförmigen Körpern. Denn diese drei verschiedenen Gattungen von Körpern, welche zugleich die Haupteintheilung für die Körper überhaupt abgeben, haben eben ihren Grund in dem verschiedenen Grade der Zusammenziehung ihrer Atome. Feste Körper bestehen aus sehr, tropfbarflüssige aus wenig, und luftförmige aus am wenigsten zusammengezogenen Atomen. Und wie wir schon erwähnt, luftförmige und tropfbarflüssige Körper werden zu festen, wenn ihre Atome eine größere Zusammenziehung, — feste und tropfbarflüssige zu flüssigen und gasförmigen Körpern, wenn ihre Atome eine größere Ausdehnung gewinnen.

Aber nicht jeder Körper, vielleicht die allerwenigsten bestehen nur aus gleichstark zusammengezogenen Atomen, sondern die meisten theils aus mehr theils aus minder zusammengezogenen Atomen, so daß es feste Körper gibt, welche zugleich auch flüssige oder gasförmige Atome besitzen. Bei der Entstehung derselben durch die Zusammenziehung eines ersten, eines Centralatoms haben sich nämlich nicht alle von den angezogenen Atomen selbst wieder zusammengezogen, sondern haben nur ihre frühere Stelle verändert, ohne nachher sich mehr oder weniger zusammengezogen zu haben. Die Zusammenziehung der Atome eines Körpers, auf welcher Zusammen-

hangs- oder Cohäsionskraft beruhet, hat aber ihre Kraft mit der Vollendung des Wachsthums eines Körpers nicht beendet, sondern sie äußert ihre Wirksamkeit in einem Körper noch so lange fort, als seine Atome nicht genöthiget werden, sich auszudehnen. Die Zusammenziehungskraft der Atome ist das Leben des todtscheinenden Starren, des Steines. Außerdem, daß sie der Grund der Erhaltung und des Zusammenhaltes der Theile eines Körpers ist, wirken die Körper durch sie auch anziehend auf ihre sie umgebenden Körper.

Adhäsion. Werden hinreichend viele Atome eines Körpers mit hinreichend vielen Atomen eines andern Körpers in Berührung gebracht, so üben die Atome des Einen Körpers auf die Atome des andern eine so kräftige Anziehung, daß letztere an ersteren hängen bleiben, adhäriren. Man nennt dieses die Adhäsionskraft. Hiebei offenbart sich folgendes Gesetz: Körper, deren Atome eine größere Zusammenziehungskraft besitzen, also Körper, welche aus stärker zusammengezogenen Atomen bestehen, wirken anziehend auf Körper mit weniger stark zusammengezogenen Atomen, — und Körper, deren Atome eine geringere Zusammenziehungskraft besitzen, also welche aus weniger stark zusammengezogenen Atomen bestehen, adhäriren, hängen sich Körpern mit stärker zusammengezogenen Atomen an. So adhäriren nicht nur gasförmige Körper an tropfbarflüssige und feste, sondern auch gleichartige Körper, z. B. feste an feste, tropfbarflüssige an tropfbarflüssige, und luftförmige an luftförmige adhäriren aneinander, in dem Fall nämlich, daß die Atome des Einen Körpers eine größere Zusammenziehungskraft besitzen, als die eines andern Körpers, welch letztere sich an erstere adhäriren.

Adhäsion zwischen zwei festen Körpern. Bringt man zwei fein und ganz eben geschliffene Metallplatten so miteinander in Berührung, daß keine Luft inzwischen eindringen kann, in der Art, daß man sie seitlich schiebend aufeinander drückt, so ziehen sich beide Platten so fest an, daß, hält man nur die eine schwebend senkrecht in der Luft, die andere an ihr hängen bleibt. Die beiden Platten können entweder von ein und demselben oder von zweierlei verschiedenem Metall seyn. Wenn sie auch aus ein und demselben Metall bestehen, deren Atome gleich stark zusammengezogen sind, so werden dennoch die Atome der Einen Platte durch das seitlich schiebende Andrücken der andern Platte zusammengedrückt, also müssen sich mehr zusammenziehen, als die Atome der Platte, mit welcher der

Druck auf die erstere ausgeführt wird. Eine Bleiplatte mit einer Zinnplatte, oder eine Kupferplatte mit einer Silberplatte durch Glättwalzen gezogen, gibt ein fast untrennbares Ganzes.

Zwei Spiegelplatten, welche sogleich nach der Politur dicht aneinander gelegt worden sind, hängen sich so fest aneinander, daß sie nicht mehr von einander getrennt werden können, ohne die Platten zu zerbrechen.

Auf der Adhäsionskraft beruht auch der Grund des Zusammenklebens, Kittens und Leimens zweier fester Körper mittels einer dickflüssigen klebrigen Flüssigkeit, wenn diese durch Verdunstung oder Erkaltung sich consolidirt, d. i. in einen festen Körper sich verwandelt, während dessen die Atome der klebenden Flüssigkeit von den Atomen der beiden zusammengelegten festen Körper angezogen werden. Die klebenden Flüssigkeiten bilden in Folge dieser Anziehung mit den beiden zusammengeklebten festen Körpern gleichsam Eine Masse. Papierstreifen mit Pappe, Leim oder Siegellack zusammengeklebt, zerreißen, ehe diese Stoffe sich ablösen, — und wenn zwei Stücke Glas mittels Siegellack aneinander gekittet sind, so ereignet es sich oft, daß, wenn man sie mit Gewalt von einander reißen wollte, das Siegellack sich nicht abtrennt, sondern Stücke aus dem Glas herausgerissen werden. Dasselbe findet oft statt bei zwei Glasplatten, die mit Leim verklebt wurden.

Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern. Häufiger noch sind die Fälle von Adhäsion tropfbarflüssiger Körper an feste Körper. Der feste Körper muß aus Atomen bestehen, welche eine größere Zusammenziehung, also eine größere Anziehungskraft besitzen, als die Zusammenhangskraft der Atome des flüssigen Körpers ist. Ist die Zusammenziehung der Atome des festen Körpers im Verhältniß des Entfernungsunterschiedes und der verschiedenen Massengröße nicht bedeutender, als die Cohäsionskraft der Atome der Flüssigkeit, so erleidet diese keine Anziehung von dem festen Körper. Z. B. die Zusammenziehung der Atome des Glases ist schwächer, als die des Quecksilbers, und also auch die Anziehung des Quecksilbers durch Glas schwächer, als die Cohäsionskraft des Quecksilbers. Daher adhärirt reines Quecksilber nicht an Glaswände. Hingegen ist das Zusammenziehungsvermögen des Glases stärker als jene der Wasseratome, es adhärirt daher Wasser an Glaswände. Die Zusammenziehungsfähigkeit der Bleiatome ist größer als die der Quecksilberatome, daher dieses an Blei zu adhäriren fähig ist.

Von Flüssigkeiten, welche an feste Körper zu adhäriren vermögen, sagt man, sie benetzen dieselben. So sagt man, Glas wird von Wasser, aber nicht von Quecksilber benetzt. Es ist Bedingniß der Adhäsion von Flüssigkeiten an feste Körper, daß zwischen der Masse beider kein anderer Stoff, z. B. atmosphärische Luft, Staub u. dgl. sich befinde. Es werden daher die Flächen der festen Körper ehevor mit der Flüssigkeit bespület, d. i. benetzet, ehe man feste Körper behufs der Adhäsion von Flüssigkeiten in diese eintaucht. Durch die Benetzung wird die Anziehung von Flüssigkeiten beschleunigt und vermehret, indem zur Macht der Anziehung der festen Körpermasse auch noch die Cohäsionsthätigkeit zwischen den Flüssigkeitsatomen der Menge und den schon an dem festen Körper hängenden hinzukömmt. Feste Körper z. B., welche anfänglich in eine Flüssigkeit getaucht keine Anziehung für diese zu zeigen scheinen, gewinnen diese in hohem Maße durch längeres Weilen in derselben, z. B. Korkholz. Wenn eine feste Scheibe auf die Oberfläche einer Flüssigkeit gesetzt wird, so kann man sie in horizontaler Stellung nicht mehr in die Höhe ziehen, wie wenn sie frei in der Luft hinge, sondern man hat eine gewisse Kraft anzuwenden, um sie von der Flüssigkeit abzuheben. Man hat mehr Kraft nöthig bei Flüssigkeiten, auf welche die Masse der Scheibe mehr Anziehung ausübt, wie z. B. bei Wasser zu Glas, — weniger Kraft bei Flüssigkeiten, auf welche die Masse der Scheibe weniger Anziehung ausübt, z. B. Alkohol, Quecksilber.

Capillarattraction. Wenn man das Ende eines offenen Glasröhrchens in Wasser taucht, so steigt das Wasser an der Wand des Glasröhrchens in die Höhe, und zwar weit über das Niveau des Wassers im Gefäße hinan, zu welcher Höhe es nach den Gesetzen des Gleichgewichtes der Flüssigkeiten gestiegen wäre. Taucht man ein Glasröhrchen von derselben Dimension aber in Quecksilber, so erreicht das in das Röhrchen eindringende Quecksilber nicht die Höhe der Quecksilbermenge außerhalb der Röhre, welche es nach dem Gleichgewichtsgesetz hätte erreichen sollen. Diese Erscheinungen der Hebung und Senkung werden gewöhnlich mit dem Namen der Capillarerscheinungen bezeichnet, die Adhäsionskraft, welche diese erzeugt, mit Capillarattraction oder auch blos Capillarität belegt. Die Höhe der über das Niveau der äußern Wassermenge steigenden innern Wassersäule in der Glasröhre ist um so größer, — und die Quecksilbersäule im Glasröhrchen um so kleiner,

je enger die Röhre, je kleiner das Lumen der Glasröhre ist. „Die Höhe der gehobenen oder niedergedrückten Flüssigkeitssäulchen verhält sich umgekehrt wie die Durchmesser der Röhrchen.“ Der Gipfel der Flüssigkeitssäule im Röhrchen ist bei Flüssigkeiten, welche zu der Masse des Röhrchens eine Anziehung haben, concav, ausgehöhlet, — bei Flüssigkeiten, welche zu der Masse des Röhrchens keine oder eine sehr geringe Anziehung besitzen, d. h. sie nicht benetzen, convex, erhoben. Man nennt diesen Gipfel den Meniskus, concaven oder convexen. Dieser Meniskus gestaltet sich auch in breiten Gefäßen, bei Flüssigkeiten, auf welche die Gefäßwand eine Anziehung ausübt, concav, bei Flüssigkeiten, auf welche die Gefäßwand keine oder geringe Anziehung ausübt, convex.

Die Ursache des Steigens einer Flüssigkeit z. B. Wassers in einem Glasröhrchen über das Niveau der äußern Wassermenge liegt, wie schon oben bemerkt, in dem größeren Zusammenziehungsgrad der Atome des Glases, und dem geringern Grad der Cohäsionsthätigkeit der Wasseratome. Die Cohäsionskraft einer gewissen Wassermenge ist nämlich gleich der Summe der Anziehungs- oder Zusammenziehungskräfte der einzelnen Atome der Wassermenge. Je größer also die Wassermenge, desto größer die Cohäsionskraft derselben, je kleiner desto schwächer dieselbe. Je schwächer aber die Cohäsion der Wassermenge, desto stärker die Anziehung, welche die Glaswand auf die Wasseratome ausüben kann; je größer die Wassermenge und stärker ihre Cohäsion, desto schwächer die Anziehung der Wasseratome durch die feste Glasmasse. In den feinen Glasröhrchen (Haarröhrchen genannt, daher der Name Capillarität) ist die Fläche des Glases im Verhältniß zur Wassermenge, die jene enthalten können, groß, bedeutend viel größer als in einem Trinkglase. Wenn in einem Trinkglase das Wasser am Rande des Wasserspiegels ½—1 Linie hoch an der Glaswand hinaufsteigt, d. h. hinaufgezogen wird, und also ein flacher Meniskus von geringer Aushöhlung sich bildet, so erreicht in einem dünnen Glasröhrchen das Wassersäulchen eine Höhe, die jene der äußern Wassermenge um das Doppelte übersteigen kann und der Meniskus ist sehr tief concav. Das Wasser dringt durch die untere Oeffnung der in eine Wassermenge getauchten Glasröhre so ein, daß sich in Folge der Raumfreigebung von Seite der sich zusammenziehenden Glasatome Wasseratome an den untern Rand der Röhre und den untersten Theil der innern Röhrenwand anhängen. In den Raum, der durch das Heraustreten

eben dieser Wasseratome aus der Wassermenge leer wird, treten andere Wasseratome, — diese werden wieder von der höher gelegenen Glasmasse angezogen, — in den leeren Raum dieser treten wieder andere Wasseratome, und so fort, so daß ein successives Anhängen von Wasseratomen an die innere Glasröhrenwand und also ein Steigen des nachdringenden Wassers hervorgebracht wird, an welchem Steigen zwar das Gleichgewichtsgesetz in Folge des Luftdruckes einen Coefficienten abgibt, welches aber zuerst veranlaßt und eingeleitet wird von der Anziehung, welche die Masse der Wasseratome (deren Cohäsion durch die Kleinheit der Menge innerhalb der Glasröhre geschwächt wird) ausübt. Daß dieses sich so verhält, beweiset, daß unter gleichen Größenverhältnissen Quecksilber weniger Anziehung erleidet, als seine Atome unter sich haben, sehr schwierig und gegen die Gesetze des Gleichgewichtes nicht bis, sondern weit unter dem Niveau der ganzen Quecksilbermasse außerhalb der Glasröhre in dieser in die Höhe steigt und das niedere Quecksilbersäulchen statt eines concaven mit seinen Rändern an die Glaswand anklebenden, einen convexen mit seinen Rändern von der Glaswand abstehenden Meniskus bildet. In einem Trinkglas, welches zum Theil mit Quecksilber angefüllet ist, bilden die Ränder der Quecksilberoberfläche keine Erhebung, kleben nicht an der Glaswand an, sondern bilden eine Einsenkung, das Quecksilber steht von der Glaswand ab, der Meniskus ist mehr convex als platt. Man kann hieraus entnehmen, daß der Coefficient des Emporsteigens einer Flüssigkeit in einer Röhre, der atmosphärische Luftdruck, unzureichend ist, um eine Flüssigkeit in die Röhre von unten nach oben zu treiben.

Wenn ein Glasstäbchen in Quecksilber getaucht wird, so steht ebenfalls das Quecksilber von dem Glase ab, bildet eine Grube, während das Glasstäbchen in Wasser getaucht eine Adhäsion des Wassers an seinen Umfang, eine Erhebung an ihm, dem Glasstäbchen, verursacht.

Wird die Glasröhre oder das Glasstäbchen in einen Zustand versetzt, daß die Zusammenziehungsthätigkeit der Glasatome erhöhet wird, so kann eine Anziehung des Quecksilbers durch die Glasmasse und also ein Emporsteigen an der Glasoberfläche des Röhrchens oder Stäbchens erzielt werden. Wird nämlich ein Glasröhrchen oder Stäbchen erwärmet oder erhitzet, wodurch, wie bekannt, die Glasatome in Ausdehnungszustand versetzt werden, so werden sie,

der Wärmequelle entzogen, sich wieder zusammenziehen, — und in diesem Zustand besitzen sie eine größere Anziehungskraft.

Die Steigung oder Senkung einer Flüssigkeit in dem Hohlgang eines Glasröhrchens findet kraft der Capillarattraction auch in den Zwischenräumen zwischen zweien in einander gesteckten Glasröhren von verschiedenen Lumen statt. Die Steigung und Senkung in dem Zwischenraum zwischen zwei Glasröhren wird gleich seyn der Steigung und Senkung der Flüssigkeit in dem Hohlraum der innern Glasröhre, wenn der Lichtdurchmesser dieser doppelt so groß ist, als die Dicke des ringförmigen Hohlraumes.

Zwischen zwei Platten adhäriret die Flüssigkeit ähnlich wie in Röhren, wenn sie in eine Flüssigkeitsmenge getaucht werden. Die Flüssigkeit steigt an der Stelle, an welcher die Platten enger aneinander sind, höher, — an den Stellen, an welchen sie weiter von einander abstehen, weniger hoch an den innern Wänden derselben auf.

Poröse Körper sind zu betrachten als ein Knäuel von Hohlgängen (Poren) oder Haarröhrchen. Die Flüssigkeiten, welche weniger Cohäsions-, als die Atomenmasse der porösen Körper Anziehungskraft für sie besitzen, dringen in die Hohlgänge oder Poren dieser nach eben denselben Gesetzen ein, wie oben das Eindringen und Steigen von Flüssigkeiten in Haarröhrchen gezeigt worden. Trockenes Holz z. B., Korkholz, Holz- oder Thierkohle, Waschschwamm, gebrannter Thon, trockene Erde, Tuch, Papier, Gewebe aus vegetabilischen oder thierischen Stoffen, thierische Membranen u. dgl. sind ebenfalls poröse Körper und theils als Knäuel theils als Reihenfolgen (Annexe) von Haarröhrchen zu betrachten. In diese dringen Flüssigkeiten, wenn sie Anziehung zu den Stoffen der Wände derselben haben, ein, — fließen je nach den Biegungen der in einander verschlungenen Hohlgänge nach den Gesetzen der Schwere fort, füllen so nach und nach den ganzen Zwischenraum zwischen den Atomen der Körper an, dehnen die Wände der Hohlgänge derselben aus und vergrößern je nach dem Grade der Ausdehnbarkeit der Hohlgänge mehr oder weniger das Volumen der ganzen Körper. Dieses findet nicht statt, wenn die Flüssigkeiten, in welche diese Körper getaucht werden, keine Anziehung zu den Stoffen erleiden. In die Poren von Holz, Kohle, Gewebe, thierischen Membranen zc. dringet Wasser, aber ohne Beihilfe von Druck nicht Quecksilber ein. Quecksilber fließt durch ein Filtrum von vegetabilischem Fasergewebe nicht,

wohl aber Wasser. Hingegen dringet Quecksilber in die Poren einer Bleistange ein, und fließt aus der Bleimasse, die davon angefüllt, nach den Gesetzen der Schwere in der Hängelage der Stange wieder ab.

Einsaugung. Wenn man ein Stück Zucker oder Salz mit einem kleinen Theil desselben in Wasser eintaucht, so steigt das Wasser durch die Continuität des Zuckers oder Salzes in die Höhe, und durchdringt das ganze Stück. Dasselbe, was bei dem Eindringen von Wasser in einen porösen Körper statt hat, findet auch hier statt. Das Wasser wird wie in den gläsernen Haarröhrchen so in den Hohlgängen des Zuckers oder Salzes von den die Wände der Hohlgänge oder Poren bildenden Zucker- und Salzatomen angezogen, weil diese eine größere Zusammenziehungskraft besitzen. Das Auffaugen durch den Zucker oder das Salz geschieht, kann man sagen, vermöge der Capillarität.

Auflösung. Wenn ein Stück Holzkohle längere Zeit hinfort Wasser eingesaugt hat, so zerfällt es endlich in kleine Theile. Dasselbe geschieht einem Stück Zucker oder Salz in viel kürzerer Zeit, wenn sie Wasser in ihre Poren aufgenommen haben; — sie zerfallen in kleine Theile, werden flüssig. Die Atome des Zuckers oder des Salzes sind von einander weiter entfernt worden, in den Zwischenraum zwischen den einzelnen Atomen hat sich Wasser eingedrängt, — man sagt: der Zucker oder das Salz hat sich im Wasser aufgelöset. Man kann sich eine Zucker- oder Salzlösung als ein feinstes Zucker- oder Salzgespinnst, Schwammgewebe denken, in dessen Zellen oder Zwischenräume, Poren, Wasser eingedrungen ist. Aber nicht der Zucker oder das Salz wird von dem Wasser angezogen, sondern das Wasser von dem Zucker oder dem Salz. Denn die Zucker- und Salzatome besitzen eine größere Zusammenziehungsthätigkeit als die Wasseratome, diese werden also von jenen angezogen. Wenn man z. B. auf den Boden eines Gefäßes ein Stück Zucker legt, und dann langsam mit Wasser das Gefäß anfüllt, und es ruhig stehen läßt, so wird der Zucker nur in den untern Schichten des Wassers, nur in der dem Zucker nahe gelegenen Menge, nicht aber in den obern Schichten des Wassers enthalten seyn, — ein Beweis, daß nicht der Zucker an das Wasser, sondern das Wasser an den Zucker adhärirt.

Endosmose und Exosmose. Das Durchdringen einer Flüssigkeit durch einen porösen Körper, insbesondere durch eine Membran

heißt Endosmose und Exosmose, jene das Eindringen der Flüssigkeit in den jenseits der Membran gelegenen Raum, diese das Ausfließen derselben aus den jenseitigen in den diesseits der Membran gelegenen Raum bezeichnend.

Wenn man in eine unten mit einer thierischen Blase zugebundene Glasröhre Kochsalz bringt, und den zugebundenen Theil der Röhre in Wasser taucht, so geht Wasser durch die Blase, adhärirt an das Salz und löset dieses auf. Das Volumen des durch die Blase in die Röhre eingedrungenen Wassers nimmt bis zu einem gewissen Zeitraum immer zu. Untersucht man nach diesem Zeitpunkt des Stillestehens der Volumzunahme des Wassers in der Glasröhre dieses Wasser, so findet man kein Kochsalz mehr darin aufgelöset, — das Kochsalz ist in der Wasserlösung durch die Blase aus der Glasröhre in die allgemeine Wassermenge gelangt, indem das Salz theils durch seine Schwere, theils weil die Atome der Blasenmembran auch für eine dünne Salzlösung Anziehungskraft besitzen, durch die Blasenmembran durchfallen konnte. Es ist daraus ersichtlich, daß nur so lange Wasser per endosmosin in die Röhre gedrungen ist, so lange von dem es anziehenden Salz darin vorhanden war. Ferner, wenn eine mit Wasser gesättigte Blasenmembran mit Kochsalz bestreut wird, so entsteht überall da, wo das Salz mit dem Wasser, welches die offenen Poren der Blasenmembran anfüllt, in Berührung kömmt, d. h. wo das Salz das Wasser anzieht, eine gesättigte Salzlösung; da aber die Auffaugungsthätigkeit der Blasenmembran für eine Salzlösung geringer ist, als für reines Wasser, d. h. da eine Salzlösung, ein mit Wasser gesättigtes Salz, von den Atomen der Blasenmembran weniger stark angezogen wird, als Wasser, so folgt ein Theil der Salzlösung den Gesetzen der Schwere und fließt in Tropfen ab. Dabei schrumpft die Blasenmembran zusammen, weil das in seinen Poren befindliche Wasser weniger geworden. Beide Fälle beweisen, daß das Wasser von dem Salze, nicht das Salz von dem Wasser angezogen wird.

Adhäsion zwischen festen und luftförmigen Körpern. Gase werden von festen Körpern um so mehr und in um so größerer Menge angezogen, je mehr Atome die festen Körper, d. i. je mehr Flächen sie dem Gase darbieten, und je mehr Zusammenziehungsthätigkeit die Atome der festen Körper besitzen und je weniger Cohäsions- also je mehr Ausdehnungs-Streben die Gasatome haben.

Wenn man in einen Glascylinder, der unter Quecksilber mit Kohlensäure oder Ammoniakgas gefüllt worden ist, eine ausgeglühte, d. i. ausgetrocknete und ihrer Luft beraubte Kohle bringt, so wird in wenig Augenblicken das in vielleicht 20 mal größerem Volumen als die Kohle vorhandene Gas von der Kohle angezogen, absorbirt, und das Quecksilber steigt, weil so viel Raum leer wird, als Volumen des Gases von der Kohle aufgesaugt wurden, im Glascylinder ganz in die Höhe.

Platinschwamm, d. i. fein vertheiltes Platin oder Platinpulver ziehen aus der atmosphärischen Luft bekanntlich den Sauerstoff in enormer Menge an sich, so daß, wenn Wasserstoffgas auf einen solchen mit Luftsauerstoff angefüllten Platinschwamm geleitet wird, in Folge der Condensirung, Zusammenziehung des Sauerstoffes eine Ausdehnung und Erwärmung des Wasserstoffes, und dadurch eine Verbindung beider Gase, eine Verbrennung des Wasserstoffes nämlich erfolgt.

Kohle, trockenes Holz, Haare, Fischbein, Salze, Chlorcalcium u. a. ziehen aus der atmosphärischen Luft den in ihr enthaltenen Wasserdunst in großer Menge an sich, so daß sie feucht und von Wasser, das sich aus dem verdichteten angezogenen und zusammengezogenen Wassergas bildet, triefen, und zuletzt wie z. B. Salz, Zucker, Chlorcalcium zerfließen, oder wie Kohle in Brei sich verwandeln. Man nennt solche Wasserdunst aus der Luft aufsaugende Körper hygroscopische.

Aber nicht blos an die sogenannten hygroscopischen Körper, welche größtentheils poröse sind, adhäriren sich die Wasserdämpfe, sondern auch an die Oberflächen aller festen Körper, weil und wenn ihre Atome in größerer und vermehrter Zusammenziehungsthätigkeit sind. Der Thau z. B. ist nichts anderes, als das in der atmosphärischen Luft enthaltene Wassergas, welches sich an die Oberflächen der Pflanzenblätter adhärirt, weil die Atome dieser sich in größerer Zusammenziehungsthätigkeit befinden, als der im Momente des Sonnenunterganges und unmittelbar nach Sonnenaufgang aus der Luft auf die Erde, aus welcher er entstiegen, wieder niederfallende Wasserdunst.

In einem warmen, wasserdunstreichen Zimmer werden die Atome der Glasfensterscheiben durch die äußere Kälte zur Zusammenziehungsthätigkeit gezwungen, und es adhärirt, schlägt sich daher der im warmen Zimmer schwebende Wasserdunst an die

innere Fläche der Fensterscheiben als Hauch und endlich in Tropfenform an.

An Glas- sowie an platt polirten Metallflächen adhäriren sehr leicht Wasser- oder sonstige Dämpfe, wie von Quecksilber, Silber- und Jodpräparaten.

Wird durch Reiben, Wischen, überhaupt mechanischen Druck oder sonst einen Einfluß, wie durch Wärme, Licht, Elektricität, die Zusammenziehungsthätigkeit der Atome der Plattenmasse geändert, modificirt, so ergibt sich, daß an den berührten Stellen der Wasserdunst u. dgl. stärker oder schwächer sich anschlägt, als an den unberührten, je nachdem nämlich die Zusammenziehungsthätigkeit der Atome der Masse an den berührten Stellen erhöhet oder gemindert worden ist. Hierin liegt der Grund der sogenannten Hauchbilder. Wenn man auf eine Glastafel oder polirte Metallplatte z. B. mit einem Holzstäbchen oder irgend einem andern Körper schreibt, so werden durch Behauchen die Buchstaben deutlich hervortreten. Auf einer Silberplatte, auf welche irgend ein Gegenstand, ein gravirter Metallstempel, eine vertieft geschnittene Achatplatte u. dgl. gelegt worden, zeigt sich nach Hinwegnahme dieser druckausübenden Körper und nachdem man sie, die Platte, Quecksilberdämpfen ausgesetzt hat, ein deutliches Bild der in den Stempel oder in Achat eingezeichneten Buchstaben und Bilder. Es ist nicht einmal der unmittelbare Druck von festen Körpern ähnlich dem obigen auf die polirte Platte nöthig, sondern es reicht schon der Druck der mehr oder minder zusammengepreßten Luft zwischen der Platte und den auf ihr nur in geringer Entfernung gehaltenen gravirten Gegenständen hin, um durch nachfolgendes Anhauchen oder Bestreichen mit Quecksilberdämpfen das Bild der gravirten Gegenstände hervortreten zu machen.

Ist die Platte aber mit Staub, mit feuchten oder getrockneten Dämpfen oder mit andern Luftarten schon belegt, so ist, wie oben bei der Capillarattraction von Flüssigkeiten an feste Körper erwähnt worden, zur Ermöglichung der Adhäsion von Dämpfen an die Platte die vorhergehende Reinigung dieser, ähnlich dem Benetzen, von nöthen.

Adhäsion von Gasen an Flüssigkeiten. Flüssigkeiten besitzen für Gase große Anziehungskraft. Man kann die Flüssigkeiten als im hohen Grade poröse Körper betrachten, deren Poren, Zwischenräume zwischen ihren Atomen, beweglich und veränderlich sind, ent-

stehen und vergehen, je nachdem Atome anderer Körper in sie eindringen oder aus ihnen wieder austreten. Aus dem Grunde, weil die Flüssigkeiten mehr Flächen oder Atome den eindringenden Gasen darbieten können, besitzen sie größeres, — weil ihnen aber eine geringere Atomenzusammenziehungsthätigkeit als den festen Körpern eigen ist, ein geringeres Anziehungsvermögen als feste Körper für Gase. Die Anziehungsfähigkeit der verschiedenen Flüssigkeiten ist verschieden zu verschiedenen Gasen. Unter übrigens gleichen Verhältnissen (als bei gleicher Temperatur und gleichem Luftdruck) absorbirt Wasser nach Bunsen's genauen Versuchen mehr kohlensaures Gas, als Sauerstoffgas, von diesem mehr als von Stickstoff, von diesem mehr als von atmosphärischer Luft. Von Ammoniakgas, salzsaurem und schwefelsaurem Gas nimmt Wasser in einem großen Verhältniß auf. Concentrirte Schwefelsäure nimmt von dem Wasserdunst in der Luft so viel auf, daß ein Schoppen Vitriolöl, der über Nacht der atmosphärischen Luft ausgesetzt ist, zu 2 Schoppen anwächst.

Adhäsion zwischen verschiedenen Luftarten. Es gilt als die bezeichnendste Eigenschaft eines Gases, daß es fortwährend strebt, nach allen Richtungen hin sich auszubreiten, also sich auszudehnen. Durch diese Eigenschaft besitzen die Gase an und für sich mehr Abstoßungs- als Anziehungsvermögen. Es läßt sich aber denn doch vermuthen, daß diejenigen Gase, welche ein geringeres Expansionsstreben besitzen als andere, eine größere Anziehungskraft als letztere haben. Es ist daher auch wahrscheinlicher, daß das geringere Expansions- und also auch das größere Contractionsstreben, oder die mindere Abstoßungs- also auch größere Anziehungskraft der einen Gase der Grund derjenigen Vermischung von Gasen, die man mit dem Namen Diffusion belegt, eher ist, als das Expansionsstreben der Gase. Hinsichtlich der Diffusion gilt der Erfahrungssatz: „Wenn man in einen und denselben Raum verschiedene Gase bringt, welche keine chemische Wirkung auf einander ausüben, so verbreitet sich jedes gleichförmig durch den ganzen Raum“, oder „Ein Gas verhält sich gegen das andere, wie ein leerer Raum.“ Wenn man z. B. zwei Gefäße (Ballon oder Glascylinder), von welchen das Eine mit Kohlensäure, das andere mit Wasserstoffgas gefüllt ist, durch eine (mittels eines Hahnes absperrbare und wieder zu öffnende) gläserne Röhre in Verbindung setzt, so findet man nach Verlauf einiger Zeit (5—6 Tagen) nicht mehr in dem Einen Gefäß nur Kohlen-

säure- und in dem andern nur Wasserstoffgas, sondern in jedem ist die Hälfte von diesen beiden Gasen zugleich enthalten. Die Diffusion der beiden Gase findet statt, auch wenn das Gefäß, welches mit dem specifisch leichteren Wasserstoffgas gefüllt ist, vertikal über dem mit specifisch schwererem Kohlensäuregas gefüllten Ballon gestellet ist. Würde an der Diffusion von Gasen das Expansionsstreben der aktive Factor seyn, so sollte man glauben, müßten sich beide Gasarten eher von einander abstoßen. Gemäß des größern Expansionsstrebens des Wasserstoffgases ließe sich bei solchem Sachverhalt der Fall denken, daß das im obern Ballon enthaltene Wasserstoffgas so weit oder so tief in den untern Ballon dringen würde, das Kohlensäuregas verdrängend, als die Expansionskraft des Wasserstoffgases größer ist, als die des Kohlensäuregases. Auch die Länge der Zeit, die nöthig ist, bis sich zweierlei Gasarten völlig diffundirt haben, möchte die Vermuthung bestärken, daß nicht das größere Expansionsstreben des Wasserstoffgases, sondern das größere Contractionsstreben und somit die größere Anziehungskraft des Kohlensäuregases der Grund der so gleichmäßigen Diffusion beider Gase ist. Es verhält sich das Kohlensäuregas zu dem Wasserstoffgas wie ein poröser Körper zu Flüssigkeiten oder Gasen, welche er in seinen haarfeinen Hohlgängen an sich zieht, absorbirt. In dieser Beziehung sind die Gase, ähnlich wie die Flüssigkeiten, als höchst poröse Körper zu betrachten, deren Porenwände höchst leicht beweglich, leicht auf- und zuziehbar sind. Die Diffusion der Gase findet auch statt, wenn sie durch poröse Scheidewände von einander getrennt sind, ähnlich wie bei der Endosmose und Exosmose der Flüssigkeiten. Hiebei beobachtet man, daß das Eine Gas rascher durch die Scheidewand dringt, als das andere, und zwar nach dem Verhältniß der Dichtigkeit der Gase, so nämlich, daß das dünnere specifisch leichtere Gas in einer bestimmten Zeit in größerer Menge ein- und austritt, als das specifisch schwerere, dichtere. Nach Graham's Versuchen verhalten sich die Geschwindigkeiten, womit die Gase die Scheidewand durchziehen, umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten. Wenn z. B. 1 Volumen Luft in die Röhre eintritt, so entweichen 3,83 Vol. Wasserstoffgas durch die poröse Gypsscheidewand. Wasserstoffgas ist 14,5 mal leichter als die atmosphärische Luft, und 3,83 ist die Quadratwurzel von 14,5.

Da dichtere, schwerere Stoffe ein größeres Atomenzusammenziehungsvermögen haben, als dünne, leichtere, so zeugt auch das

Geschwindigkeitsverhältniß bei der Gasendosmose für den Satz, daß das größere Anziehungsvermögen des Einen Gases der Grund der Diffusion desselben mit einem Gase von geringerem Anziehungsvermögen ist. Denn die schwerere Luft, so schließen wir, zieht durch die poröse Scheidewand das leichtere Wasserstoffgas zuerst an. Hiedurch entsteht ein Luftwasserstoffgasgemenge, das als Gemengsel durch die Scheidewand in das Gefäß des Wasserstoffgases eintritt, während das Wasserstoffgas als solches aus dem Gefäße getreten ist.

Anziehung in Entfernung. In der Zusammenziehungskraft der Atome eines Körpers beruht die gegenseitige Anziehung seiner Atome und seine Anziehungskraft auf andere Körper. Die Stärke der Cohäsionskraft eines Körpers ist die Summe der Zusammenziehungskräfte aller seiner Atome. Die Stärke der Anziehungskraft eines Körpers auf andere Körper ist also ebenfalls gleich der Summe der Zusammenziehungskräfte seiner Atome. Je stärker die Zusammenziehungskraft der Atome eines Körpers ist, und aus je mehr zusammengezogenen Atomen ein Körper besteht, desto größer ist die Stärke seiner Anziehungskraft auf andere Körper. Aus je weniger Atomen ein Körper besteht, und je kleiner ein Körper ist, desto leichter kann er von einem andern Körper angezogen werden. Körper, welche aus wenig zusammengezogenen Atomen bestehen, können zwar leichter von einem Körper mit stark zusammengezogenen Atomen angezogen werden, aber nach erfolgter Anziehung ist die gegenseitige Atomenanziehung zwischen beiden Körpern (eines festen Körpers und eines Gases) eine geringere, als zwischen zwei Körpern mit stark zusammengezogenen Atomen. Ist es nun der Fall, daß in das Bereich der Anziehungsthätigkeit eines anziehenden Körpers zwei Körper gelangen, von denen der Eine aus wenig zusammengezogenen, der andere aus stark zusammengezogenen Atomen besteht, so wird, wenn beide an Einem Punkt den anziehenden Körper zu berühren kommen, der zweite den Platz behaupten. Auch in dem Falle, daß ein Körper mit wenig zusammengezogenen Atomen schon von einem Körper angezogen ist, wird ein anderer Körper mit stärker zusammengezogenen Atomen, wenn er von jenem ebenfalls angezogen wird, den schon angezogenen Körper mit wenig zusammengezogenen Atomen aus seiner Lage verdrängen, oder ihn gegen den anziehenden Körper zusammendrücken, d. i. seine Atome zu zusammengezogenen machen. Man kann also behaupten, daß zwischen Körpern mit stark zusammengezogenen Atomen eine größere Anziehungskraft statt habe, als

zwischen Körpern mit wenig zusammengezogenen Atomen oder zwischen Körpern mit verschieden stark oder schwach zusammengezogenen Atomen; — in eben dem Grade, als zwischen mehr zusammengezogenen Atomen eine stärkere Cohäsion herrscht als zwischen wenig zusammengezogenen Atomen.

Auf solchen Verhältnissen beruht die Anziehung in der Ferne. Ein großer Körper, aus stark zusammengezogenen Atomen bestehend, z. B. eine große Metallkugel, wird eine kleine Metallkugel, wenn diese hinreichend leicht beweglich ist, in gewisser Entfernung schon an sich ziehen. An großen Gebirgsmassen hat man auch eine Ablenkung des Senkbleies beobachtet. Die zwischen der großen und kleinen Metallkugel, und der Gebirgssteinmasse und der Bleikugel des Senkels befindliche Luft wird während des Anziehungsaktes der kleinen Kugel durch die größere Masse aus ihrer Lage verdrängt.

Schwer- oder Anziehungskraft der Erde. Auf denselben Principien beruht die Schwerkraft der Körper, oder die Anziehung aller einzelnen Körper unseres Planeten durch die Totalmasse der Erde.

Die Erde, welche aus drei Lagen von Körpern von verschieden stark zusammengezogenen Atomen, nämlich Festmasse, Wasser und Luft besteht, ist als ein Körper zu betrachten, welcher anfangs aus lauter wenig zusammengezogenen Atomen bestehend, durch die größere Zusammenziehung Eines seiner Atome einen festen Mittelpunkt, und durch die hiedurch bedingte Anziehung anderer Atome an das Centralatom und die nachfolgende gleichfallsige Zusammenziehung und fortlaufende Anziehung dieser andern Atome eine feste Masse, die Erdmasse, gewann, deren Atome unter sich durch gegenseitige Anziehung, die Cohäsionskraft, zusammengehalten sind. Die Wassermasse der Erde, das Meer und seine Luftatmosphäre sind als der nicht mehr sich zusammengezogen habende oder noch nicht zusammengezogene Theil der von der Sonne sich losgerissen habenden Planetenmasse zu betrachten.

Die Stärke der Anziehungskraft der Erde ist gleich der Summe der Zusammenziehungskräfte ihrer Atome. Die Richtung, in welcher die einzelnen Körper der Erde angezogen werden, ist eine centripetale, in die Radien ihrer Kugelgestalt fallende. Diese nach dem Mittelpunkt der Erde gehende Richtung der Anziehung der einzelnen Körper auf der Oberfläche der Erde ist experimentell nachgewiesen. Um die Richtung eines von der Erde angezogen

werdenden Körpers zu beobachten, gibt es kein besseres Mittel, als ein an einen leicht beweglichen Faden gebundener fester Körper, eine Bleikugel an einem dünnen Faden, das Bleiloth, Loth, Senkblei oder Senkel genannt. Man hält an der Hand oder befestigt den Faden an einen festen Punkt, und die Richtung des Fadens, wenn er durch die von der Erde angezogene Bleikugel angespannt und in Ruhe ist, ist die Richtung der Erdanziehung, die Richtung der Schwere. Man nennt die Richtungslinie, in welcher ein Körper von der Erde angezogen wird, die lothrechte, senkrechte oder vertikale. Durch astronomische Beobachtungen hat man nun gefunden, daß die Richtungen sehr weit von einander abstehender entfernter Lothe einen Winkel bilden, dessen Scheitelpunkt beinahe genau der Mittelpunkt der Erde ist. Daraus ergibt sich nun auch erfahrungsgemäß das Gesetz, daß die Schwerkraft immer nach dem Mittelpunkt der Erde gerichtet ist, daß alle einzelnen Körper von der Erde in radial-centripetaler Richtung angezogen werden.

Gemäß der enormen Summe der Zusammenziehungskräfte der Atome, aus denen der feste Theil der Erde bestehet, ist die auf jener beruhende Anziehungskraft der Erde eine ungemein große, weit über die Grenze der Oberfläche des Festlandes hinausreichende.

Wie wir oben schon auseinandersetzten, daß ein aus stärker zusammengezogenen Atomen bestehender Körper mehr von einem anziehenden Körper angezogen wird, als ein aus weniger stark zusammengezogenen Atomen bestehender, und ein aus stärker zusammengezogenen Atomen bestehender Körper, wenn er von einem andern Körper angezogen wird, einen andern schon oder eben angezogenen aus weniger stark zusammengezogenen Atomen bestehenden Körper aus seiner Lage, in die er durch die erlittene Anziehung gebracht wurde oder eben wird, verdrängt oder zusammendrückt; — eben so wird ein aus stärker zusammengezogenen Atomen bestehender Körper von der Erde mehr angezogen, als ein Körper mit weniger stark zusammengezogenen Atomen. Die Stärke der Anziehung, welche ein einzelner Körper von der Erde erleidet, heißt seine Schwere. Ein aus stärker zusammengezogenen Atomen bestehender Körper ist folgegemäß schwerer, als ein aus schwächer zusammengezogenen Atomen bestehender Körper.

Sowie ein Körper, welcher aus mehr stark zusammengezogenen Atomen besteht, als ein anderer Körper, welcher aus geringerer Anzahl eben so stark zusammengezogener Atome besteht, eine größere

Anziehungskraft besitzt, — ebenso wird auch ein Körper mit mehr stark zusammengezogenen Atomen stärker angezogen werden, als ein Körper mit weniger Atomen von gleich starker Zusammenziehung, — und ebenso auch von der Erde, also auch jener schwerer seyn, als dieser. Darin besteht der Körper absolute Schwere.

Wenn nun ein Körper von einer gewissen Größe schwerer ist, als ein anderer Körper genau von derselben Größe, — so nennt man dieß die specifische Schwere eines Körpers. Da die festen Körper aus am stärksten zusammengezogenen Atomen, tropfbarflüssige Körper aus weniger stark zusammengezogenen, und die luftförmigen Körper aus am wenigst zusammengezogenen Atomen bestehen, so sind die festen Körper die am specifisch schwersten, und die luftförmigen Körper die am specifisch leichtesten Körper auf der Erde. Die tropfbarflüssigen halten die Mitte zwischen den festen und luftigen. Poröse feste Körper, welche theils aus stark zusammengezogenen, theils wenig stark und schwach zusammengezogenen Atomen bestehen, also feste Körper, in deren Hohlgängen sich tropfbarflüssige oder luftförmige Körperstoffe befinden, sind je nach der Ueberwiegenheit der Anzahl der verschieden stark zusammengezogenen Atome schwerer oder leichter, als Flüssigkeiten oder Gase.

Ein specifisch schwerer Körper, da er von der Erde stärker angezogen wird, als ein specifisch leichterer, verdrängt bei der gleichzeitigen Anziehung beider durch die Erde den leichtern aus seiner Lage, wenn des letztern Atome eine geringe Cohäsion zu einander besitzen. Dieß ist der Fall bei festen Körpern, welche luftförmige und flüssige Körper während ihrer Anziehung durch die Erde aus ihrer Lage verdrängen, sie durchdringen. Man nennt dieses ein Fallen, wenn ein fester Körper durch die Luft sich drängt, — ein Sinken, wenn ein solcher eine Flüssigkeit durchdringt. Ist aber die Cohäsionskraft der Atome eines Körpers, welcher näher dem Erdmittelpunkte liegt, größer als die Kraft, mit welcher ein von dem Erdmittelpunkt entfernterer Körper von diesem angezogen wird, — so wird dieser die Atome des ersteren aus ihrer Stelle zu bringen nicht im Stande seyn, sondern nur einen Druck auf ihn ausüben, — Druck durch Schwere.

Je größer die Kraft ist, mit welcher ein von dem Erdmittelpunkt entfernterer Körper von dem Erdmittelpunkt angezogen wird, desto stärker drückt er auf einen dem Erdmittelpunkt näher gelegenen Körper. Je größer die Erdanziehungskraft oder die Schwerkraft

eines Körpers ist, desto stärkeren Druck übt er aus; und da die Erdanziehungskraft oder Schwerkraft desto größer ist, je näher ein Körper dem Erdmittelpunkte sich befindet, so ist auch der Schwerdruck ein- und desselben Körpers größer, wenn er sich dem Erdmittelpunkte näher, — geringer, wenn er sich von dem Erdmittelpunkte entfernter befindet.

Der Druck, den ein Körper durch seine Schwere auf einen andern Körper ausübt, nennt man sein Gewicht. Man definirt daher gemeinhin Gewicht als den Druck, den ein Körper auf seine Unterlage ausübt. Wir schätzen das Gewicht eines Körpers nach dem Druck, den ein solcher auf einen Theil unseres Körpers ausübt. Dieses Gefühl messen wir, wie früher die Wärme eines Körpers mit dem Thermometer, mit einem Gewichtsmesser, der Wage ab. Die Wage ist nämlich ein Instrument, mit dem wir den Druck zweier verschiedener Körper, den je einer auf eine Unterlage ausübt, vergleichen. Die gewöhnliche Wage besteht aus einem mit seinem Schwerpunkt horizontal auf einem fixen Körper ruhenden gestützten, und um ihn beweglichen Balken, an dessen beiden Enden je eine Schaale hängt, auf welche die beiden mit einander zu vergleichenden Körper gelegt werden. Der Druck, den je einer von den beiden zu wägenden Körpern auf je Eine der Wageschaalen ausübt, d. i. die Schwere, das Gewicht zeigt sich an: durch das Sinken des Einen Endes, Armes, unter die Höhenlinie seines Stützpunktes für das größere, — durch das Heben des andern Endes, Armes, über die Höhenlinie seines Stützpunktes für das geringere Gewicht des auf der Schaale liegenden Körpers.

Schwerpunkt. Das Gewicht eines Körpers ist die Summe oder die Resultirende der Anziehungskräfte, welche von der Erde und bezüglich dem Erdmittelpunkt aus auf alle Atome eines Körpers ihre Wirkung äußern. Schwerpunkt eines Körpers nennt man den Angriffspunkt dieser Resultirenden. Der Schwerpunkt eines Körpers ist zugleich der Mittelpunkt der Cohäsionskraft eines Körpers, die Summe oder die Resultirende der gegenseitigen Anziehungskräfte der Atome eines Körpers. Ein Körper, die Summe einer gewissen Anzahl von Atomen, wird immer in der Radialrichtung von der Erde angezogen, welche durch den Schwerpunkt eines Körpers geht.

Gleichgewicht. Ein Körper daher, welcher so gestützt ist, daß der Stützpunkt und sein Schwerpunkt in der Richtungslinie der

Erdanziehung liegt, befindet sich im Gleichgewicht. Trifft der Stützpunkt eines Körpers mit seinem Schwerpunkt zusammen, so wird er in allen Lagen im Gleichgewicht seyn. Man nennt dieses das indifferente Gleichgewicht. Fällt der Stützpunkt in einen Punkt der Linie, welche man sich in der Richtung der Erdanziehung durch den Schwerpunkt hindurchgezogen verlängert denkt, oberhalb des Schwerpunktes, so heißt das Gleichgewicht des Körpers ein stabiles, weil bei der Lageveränderung des Körpers er immer wieder in die alte Lage zurückkehrt. Kommt der Stützpunkt aber in einen Punkt der eben beschriebenen Linie, Stützlinie, unterhalb des Schwerpunktes zu stehen, so wird der Körper, wenn man seine Lage verändert, umfallen. Es heißt dieses ein labiles Gleichgewicht. Diese drei verschiedenen Fälle lassen sich veranschaulichen durch eine Scheibe, welche an einem Nagel oder Kolben aufgehängt ist, der entweder durch ihren mit dem Schwerpunkt der Scheibe zusammenfallenden Mittelpunkt, oder oberhalb oder unterhalb dieses Mittelpunktes durch die Dicke der Scheibe hindurch geht.

Stütze. Ein mit der Erde zusammenhängender fester Körper, welcher an die Stelle der Resultirenden der Schwerkräfte eines andern Körpers tritt, heißt dessen Stütze. Der Stützpunkt ist der Punkt, an welchem der stützende Körper mit dem gestützten Körper zusammentrifft. Gestützter und stützender Körper scheiden sich von einander dadurch, daß jeder der beiden seinen eigenen Schwerpunkt in sich hat. Sie vereinigen sich dadurch, daß beider Schwerpunkte in Ein und dieselbe Erdanziehungslinie, in Ein und denselben Erdradius fallen. Die Einheit der Erdanziehung macht gestützten Körper und stützenden Körper zu Einem.

Die Stütze eines Körpers ist entweder eine Tragestütze, wenn nämlich ein Körper auf einem andern fixen Körper liegt, — oder eine Hängestütze, wenn ein Körper an einem fixen Körper hängt. Sowol durch jene als diese wird das Gewicht des gestützten Körpers von dem stützenden fixen Körper getragen.

Statt Einer Stütze kann ein Körper zwei oder mehrere Stützen haben. Der Schwerpunkt des gestützten Körpers muß, wenn dieser im Gleichgewicht sich befinden soll, innerhalb der Stützen seyn, und eine von dem Schwerpunkt des gestützten Körpers zum Erdmittelpunkt, also lothrecht gezogene Linie darf nicht außerhalb der Stützen liegen. Dasselbe ist erforderlich bei einem auf dem Boden liegenden Körper mit mehr oder weniger breiter Basis, wenn er im

Gleichgewicht sich befinden soll, — es muß nämlich die durch seinen Schwerpunkt gezogene Vertikale noch die Basis selbst treffen. Fiele diese außerhalb der Basis, so würde er umfallen.

Ein Körper steht oder liegt auch um so fester, je tiefer sein Schwerpunkt liegt, und je breiter seine Basis ist.

Wage. Um einen Körper aus seinem Gleichgewicht zu bringen, haben wir also nur nöthig, ihn so zu bewegen, daß die mit seinem Schwerpunkt gezogene Vertikale seine Basis, mit der er aufliegt, nicht mehr trifft, oder außerhalb seiner Stützen fällt. Von zwei Kräften, welche in entgegengesetzter Richtung auf einen Körper wirken, ist diejenige, welche ihn aus dem Gleichgewicht bringt, um so viel mal stärker, um wie viel mal der Abstand der durch den Schwerpunkt des Körpers gezogenen Vertikale von der Schwerpunktvertikale im Gleichgewicht größer ist, als derjenige, welcher von der geringeren Kraft in entgegengesetzter Richtung erzeugt würde, wenn die stärkere Kraft nicht wirkte. Auf diesem Princip beruht unser Gewichtsmesser, die Wage. Erstes Erforderniß einer guten Wage ist, daß der — den aus dem Gleichgewicht zu bringenden Körper vorstellende — Balken im unbelasteten Zustande oder bei gleicher Belastung seiner an den beiden Enden hängenden Wageschaalen in vollkommen horizontaler Lage sich befinde, und, sobald man in die Eine Schaale einen schwereren Körper bringt, der Balken sich nach der Seite des Uebergewichts senke, an der Seite des geringeren Gewichtes sich hebe. Hiezu ist nöthig, daß der Wagebalken im stabilen Gleichgewicht sich befinde, daß er also an einem Punkt oberhalb seines Schwerpunktes in der durch seinen Schwerpunkt gezogenen Vertikale seine Aufhängestelle, eine horizontal vorstehende Axe, habe, um die er leicht beweglich, drehbar ist. Je näher der Aufhängepunkt oberhalb des Schwerpunktes des Balkens dem Schwerpunkt angebracht ist, je länger der Wagebalken und je leichter er ist, desto empfindlicher ist die Wage. Den Winkel, welchen der Balken für den Fall des Uebergewichts auf der einen Seite mit dem Horizonte macht, heißt man den Ausschlagswinkel.

Fallen der Körper. Man nennt Fallen das von der Erde, bezüglich von dem Erdmittelpunkte Angezogenwerden eines in der Luft freigelassenen Körpers, welcher schwerer ist, als die Luft. Ein fallender Körper muß durch die Kraft der größeren Erdanziehung, welche er erleidet, die Zusammenhangskraft der Luftatome überwinden. Diese leistet also jener in gewissem Maße Widerstand,

und verursacht in der Geschwindigkeit des Fallens eine Verzögerung. Dieser Verzögerung wirkt aber der Umstand entgegen, daß die Anziehung der Erde auf den fallenden Körper eine desto größere Macht ausübt, je näher er dem Erdmittelpunkt kömmt, — und in noch höherem Grade der Umstand, daß die Erdanziehung auf den fallenden Körper, so lange er fällt, wirkt, also die Geschwindigkeit desselben beschleunigt. Die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers wächst also mit der Zeit seines Fallens, — und zwar, wie man berechnete, im Verhältniß des Quadrates der Fallzeit.

Anmerkung. Nach der Annahme, daß die Schwere in jedem Moment des Fallens auf dieselbe Weise wirkt, muß die Geschwindigkeit des fallenden Körpers durch sie in gleichen Zeiten auch gleichviel vermehrt werden. Wenn der fallende Körper während der ersten Fallsekunde eine Geschwindigkeit g erlangt, so muß er also nach 2, 3, 4 ... t Sekunden eine Geschwindigkeit 2 g, 3 g, 4 g ... t g erlangt haben. Zu Anfang der ersten Sekunde ist die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers gleich 0, zu Ende derselben ist sie g. Da der Annahme gemäß die Geschwindigkeit gleichförmig zunimmt, so muß der in einer Sekunde durchfallene Raum offenbar gerade eben so groß seyn, als ob sich der Körper während einer Sekunde mit einer Geschwindigkeit bewegt hätte, welche zwischen der Anfangs- und Endgeschwindigkeit, also zwischen 0 und g in der Mitte steht. Diese mittlere Geschwindigkeit aber ist $\frac{1}{2}$ g, und ein Körper, der sich eine Sekunde lang mit der Geschwindigkeit $\frac{1}{2}$ g bewegt, durchläuft den Raum $\frac{1}{2}$ g. Ebenso für zwei Fallsekunden ist die Anfangsgeschwindigkeit 0, die Endgeschwindigkeit 2 g, also ist die mittlere Geschwindigkeit $\frac{2\,g}{2}$, und ein Körper, welcher sich zwei Sekunden lang mit dieser Geschwindigkeit bewegt, durchläuft einen Raum von $2 \,.\, \frac{2\,g}{2}$, in drei Sekunden also $3 \,.\, \frac{3\,g}{2}$; und ein Körper, welcher t Sekunden lang mit einer Geschwindigkeit $\frac{g}{2}\,t$ sich bewegt, durchläuft einen Raum $s = \frac{g}{2} \,.\, t^2$. Das heißt in Worten: Die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten.

Aus der Höhe s, von der ein Körper herabfällt, läßt sich also die Zeit bestimmen, in welcher er herabfällt; denn $t = \sqrt{\frac{2 \,.\, s}{g}}$. Und aus der Zeit, in welcher ein Körper von einer Höhe herabfällt, läßt sich die Höhe bestimmen, von der er herabgefallen, denn $s = \frac{g}{2} \,.\, t^2$.

Wenn nämlich ein Körper vier Sekunden lang fällt, so wird er nach der zweiten Sekunde einen viermal größeren Raum durchfallen haben, als in der ersten Sekunde, — in der dritten Sekunde einen neunmal größeren Raum, und in der vierten Sekunde einen sechszehnmal größeren Raum als in der ersten Sekunde. Nach Berechnung und experimenteller Beobachtung durchfällt ein Körper in der

Das durch mathematische Berechnung festgestellte und durch experimentelle Erfahrung bewiesene Gesetz: „Die Fallräume verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten" läßt sich folgendermaßen erklären:

Die ganze sechs Sekunden dauernde Fallzeit sey in sechs gleiche Zeittheile, also in sechs Sekunden eingetheilt. In der ersten Sekunde hat die Erdanziehung (Schwerkraft) bewirkt, daß der freigelassene Körper 15 Fuß durchfallen ist. In der zweiten Sekunde ist der fallende Körper noch in der Bewegung, welche ihm durch die Schwerkraft der ersten Sekunde ertheilt wurde, begriffen, weil kein Grund vorhanden ist, daß sie aufhörte. Da die Schwerkraft ununterbrochen fortdauert, so ist in der zweiten Sekunde zum Krafttheil der ersten Sekunde noch ein Krafttheil hinzugekommen. Es wirken also in der zweiten Sekunde zwei Sekundenkrafttheile, nebstdem daß die Wirkung der in der ersten Sekunde vorhandenen Kraft noch im Fortbestehen ist. In der zweiten Sekunde wird der fallende Körper also einen Raum von 3 . 15 = 45 Fuß durchfallen; — und nach der zweiten Sekunde mit Einrechnung des durchfallenen Raumes in der ersten Sekunde 60 Fuß durchfallen haben.

In der dritten Sekunde befindet sich der fallende Körper noch in der Bewegung, welche ihm die Kräfte der ersten und zweiten Sekunde ertheilt haben. In der dritten Sekunde kommt zu den Krafttheilen der ersten und zweiten Sekunde noch ein dritter Krafttheil hinzu. Es wirken daher in der dritten Sekunde drei Sekundenkrafttheile, nebstdem daß die Wirkung der Kraftgröße der ersten zwei Sekunden noch andauert. In der dritten Sekunde wird der fallende Körper also einen Raum von 6 . 15 = 90 Fuß durchfallen, — und nach der dritten Sekunde mit Einrechnung des in der zweiten Sekunde durchfallenen Raumes von 45 Fuß einen Raum von 135 Fuß durchfallen haben.

Auf dieselbe Weise wirken in der vierten Sekunde vier Sekundenkrafttheile, nebstdem daß die Wirkung der Kraftgröße der ersten drei Sekunden noch andauert. Es fällt daher der Körper in der vierten Sekunde durch einen Raum von 10 . 15 = 150 Fuß, und hat nach der vierten Sekunde 150 + 90 = 240 Fuß durchfallen.

Deßgleichen durchfällt er in der fünften Sekunde durch die Nachwirkung der 10 Krafttheile der vierten Sekunde noch fünf neue Krafttheile, so daß der Körper einen Raum von 15 . 15 = 225 Fuß durch-

ersten Sekunde beiläufig 15 Pariser Fuß. Er muß also nach der zweiten Sekunde 2 . 2 . 15 = 60′, — nach der dritten Sekunde 3 . 3 . 15 = 135′ — und nach der vierten Sekunde 4 . 4 . 15 = 240′ langen Raum durchfallen haben. Die Verzögerung, welche der Widerstand der von dem fallenden Körper zu verdrängenden Luft in der Geschwindigkeit desselben hervorbringt, wäre hievon in Abrechnung zu bringen. Dieser Widerstand der Luft wächst aber auch

fällt, und nach der fünften Sekunde einen Raum von 375 Fuß durchfallen hat.

In der sechsten Sekunde wächst die Summe der nachwirkenden und neuwirkenden Krafttheile auf 15 + 21 = 36 und der Körper hat nach der sechsten Sekunde einen Raum von 36 . 15 = 540 Fuß durchfallen.

Die Zahlen der nach jeder Sekunde sich ergebenden Fuße durchfallenen Raumes stimmen aber mit den Quadraten der Fallzeit genauest überein, wie aus folgender Uebersicht bequem zu ersehen ist:

Sekunden.	Krafttheile		Durchfallener Raum.
	nachwirkende.	neu hinzugekommene.	
1ste Sekunde	—	1	= 1 . 15 = 15 Fuß
2. „	1	+ 3	= 4 . 15 = 60 „
3. „	3	+ 6	= 9 . 15 = 135 „
4. „	6	+ 10	= 16 . 15 = 240 „
5. „	10	+ 15	= 25 . 15 = 375 „
6. „	15	+ 21	= 36 . 15 = 540 „

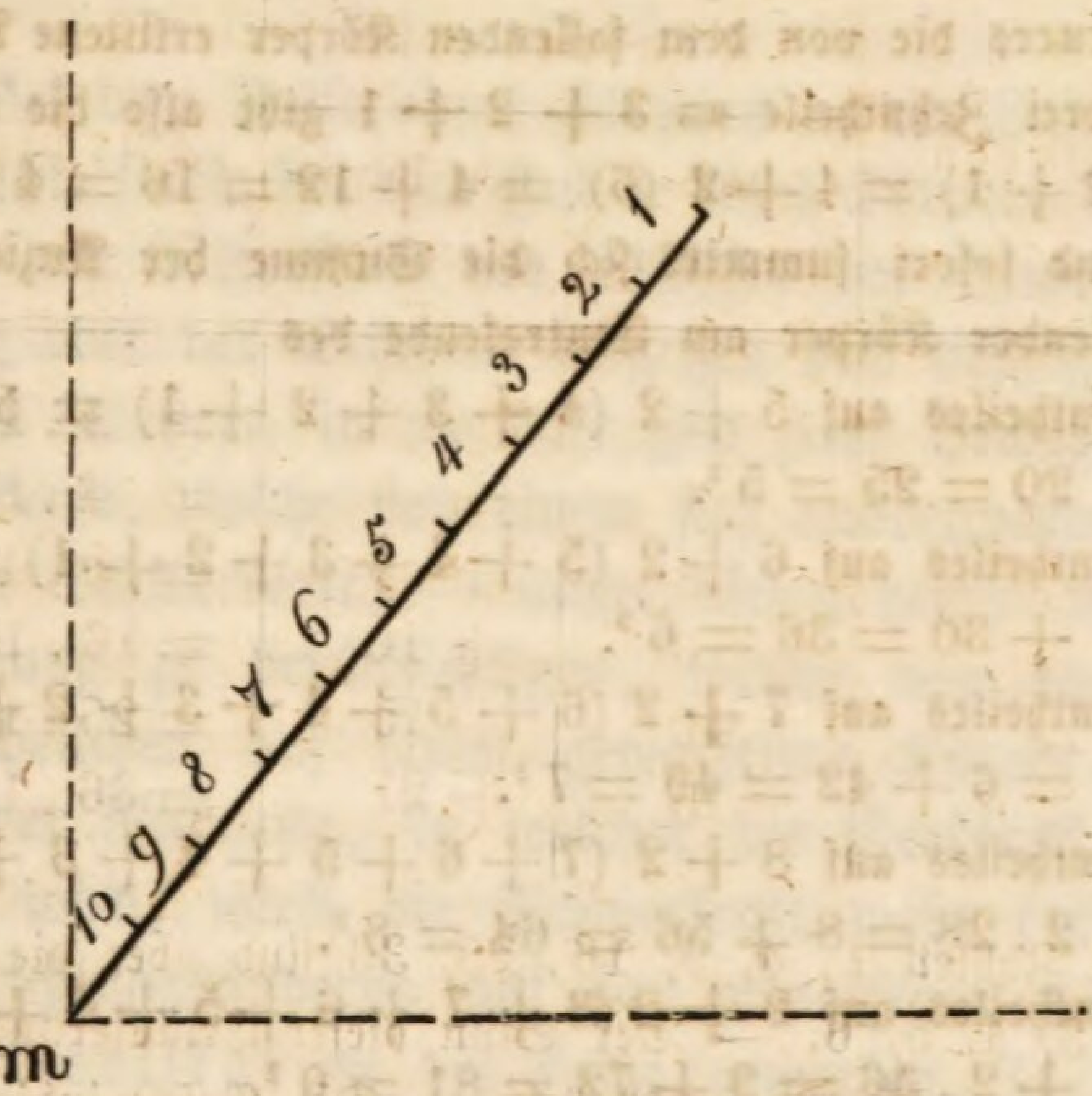
Die Zahlen 1, 4, 9, 16, 25, 36 sind aber die Quadratzahlen von 1, 2, 3, 4, 5, 6. — Der Sinn dieser Erläuterung ließe sich vielleicht in folgenden Worten ausdrücken: „Die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers, welche er von der beschleunigenden Anziehungskraft der Erde in den früheren Zeitmomenten erhalten hat, behält derselbe in den späteren Zeitmomenten bei, und wird vermehrt im Verhältniß derselben Kraft, welcher er in den folgenden Zeitmomenten ausgesetzt ist; — die Größe der Erdanziehungskraft in den folgenden Zeitmomenten ist aber die Summe der Krafttheile der vorhergehenden Zeitmomente und des Krafttheiles des eben währenden Zeitmomentes.“ Z. B. in der vierten Sekunde hat der fallende Körper die Geschwindigkeit, welche er in den drei vorhergehenden Sekunden erreicht hat, nämlich die von 6 Kraft-

im quadratischen Verhältniß der Geschwindigkeit, mit der ein Körper fällt. Ein Körper übrigens von einem größeren Umfange durchdringt die Luft mit größerer Schwierigkeit, weil eine größere Summe von Luftatomen ihm entgegenwirkt, als ein Körper von kleinerem

theilen, und sie wird vermehrt durch die Kraft, welche durch vier Sekunden hindurch angedauert, nämlich 4 Kranfttheile, was eine Geschwindigkeit von 10 Krafttheilen ausmacht. In der vierten Sekunde hat der fallende Körper also 10 . 15 = 150 Fuß Raum durchfallen, hiezu addirt der Raum, den er in der dritten Sekunde durchfallen hat, nämlich 6 . 15 = 90 Fuß, gibt die Summe von 150 + 90 = 240 Fuß, welche der fallende Körper nach der vierten Sekunde durchfallen hat.

Auf ähnliche Weise läßt sich auch das Gesetz der Zunahme der Anziehungskraft der Erde, der Schwere nämlich, im Quadrate der Annäherung, und der Abnahme im Quadrate der Entfernung erklären:

Man denke sich von dem Mittelpunkt der Erde bis zu der Grenze ihrer Anziehungskraft eine Linie gezogen, diese in beliebig viele gleiche



Abtheilungen, z. B. zehn abgetheilt, und einen Körper von dem äußersten Grenzpunkt seinen Anziehungspunkt 1 bis zum Mittelpunkt der Erde M 10 fallen. In dem ersten Zehntheil des Erdanziehungshalbmessers ist die Anziehung = 1. In dem zweiten Zehntheil ist die Kraft der Anziehung doppelt so groß, als in dem ersten, also 2, hiezu kommt noch, daß durch das zweite Zehntheil noch die Kraft des ersten Zehntheils durchwirkt, also 2 + 1, — und der fallende Körper hat schon die Anziehungskraft des ersten Zehntheiles erlitten, also summirt sich

Umfange, dem eine geringere Anzahl von Luftatomen entgegenwirkt. Bei jenem ist also der Widerstand der Luft während seines Fallens ein größerer als bei einem kleinen Körper. Diesen Widerstand der Luft abgerechnet fällt aber ein Körper von größerem Gewicht mit

die Kraft der Anziehung, welche der fallende Körper am Centralende des zweiten Zehntheiles hat, folgendermaßen: $2 + 1 + 1 = 4 =$ dem Quadrat von 2.

In dem dritten Zehntheil des Erdanziehungsradius ist die Kraft der Anziehung dreimal größer, als in dem ersten Zehntheile. Hiezu kommt, daß die Kraft des zweiten und ersten Zehntheiles durch das dritte Zehntheil hindurchwirkt, was $2 + 1$ gibt; — außerdem hat der fallende Körper schon die Anziehungskraft des ersten und zweiten Zehntheiles erfahren, — die Gesammtanziehungskraft im dritten Zehntheil ist also $= 3 + 2 + 1 + 2 + 1 = 9 =$ der Quadratzahl von 3.

Im vierten Zehntheil ist die Kraft der Anziehung viermal größer, als in dem ersten Zehntheil; — hiezu die durch dasselbe durchwirkenden Kräfte des dritten, zweiten und ersten Zehntheiles $= 3 + 2 + 1$, — und ferners die von dem fallenden Körper erlittene Anziehungskraft der ersten drei Zehntheile $= 3 + 2 + 1$ gibt also die Summe $= 4 + 2 (3 + 2 + 1) = 4 + 2 (6) = 4 + 12 = 16 = 4^2$.

Und sofort summirt sich die Summe der Anziehungskraft, welche ein fallender Körper am Centralende des

5. Zehntheiles auf $5 + 2 (4 + 3 + 2 + 1) = 5 + 2 . 10 = 5 + 20 = 25 = 5^2$.
6. Zehntheiles auf $6 + 2 (5 + 4 + 3 + 2 + 1) = 6 + 2 . 15 = 6 + 30 = 36 = 6^2$.
7. Zehntheiles auf $7 + 2 (6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1) = 7 + 2 . 21 = 6 + 42 = 49 = 7^2$.
8. Zehntheiles auf $8 + 2 (7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1) = 8 + 2 . 28 = 8 + 56 = 64 = 8^2$.
9. Zehntheiles auf $9 + 2 (8 + 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1) = 9 + 2 . 36 = 9 + 72 = 81 = 9^2$.
10. Zehntheiles auf $10 + 2 (9 + 8 + 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1) = 10 + 2 . 45 = 10 + 90 = 100 = 10^2$.

Die Anziehungskraft in dem dem Erdmittelpunkt am nächsten gelegenen Zehntheil der ganzen Erdanziehungslinie ist also zehnmal größer, als in dem von dem Erdmittelpunkt entferntesten Zehntheil der Erdanziehungslänge; — d. i. die Intensität der Erdanziehungskraft oder der Schwere nimmt im Quadrate der Entfernung ab, oder die Intensität der Schwere steht im umgekehrten Verhältniß des Quadrates der Entfernung.

eben derselben Geschwindigkeit, als ein Körper von geringerem Gewicht. Ein Körper z. B., welcher 100 Pfd. wiegt, zu gleicher Zeit in der Luft in einer gewissen Höhe freigelassen mit einem Körper, der nur 10 Pfd. wiegt, kommt zur selben Zeit am Boden an als letzterer. Diese gleiche Fallgeschwindigkeit zweier verschieden schwerer Körper hat in dem Umstand ihren Grund, daß die Erdanziehung auf jedes einzelne Atom der fallenden Körper ihre Wirkung äußert, und also die Resultirende der Schwerkräfte eines Körpers nur die Summe so vieler Kräfte ist, als ein fallender oder überhaupt der Schwere unterliegender Körper Atome zählt. Viele Erdanziehungskräfte verhalten sich zu einem großen Körper mit vielen Atomen ebenso, wie Eine Erdanziehungskraft zu Einem Atom.

Beide Gesetze, das der Vermehrung der Geschwindigkeit eines fallenden Körpers im quadratischen Verhältniß seiner Fallzeit und jenes der gleichen Fallgeschwindigkeit zweier verschieden schwerer Körper sind von Galiläi zuerst aufgestellt und durch Experimente bewiesen worden.

Werfen. Bei dem Falle eines Körpers in der Luft wirkt der Widerstand der Luft, sowie bei dem Fallen eines Körpers im Wasser, bei dem Sinken, der Widerstand des Wassers der Bewegungskraft der Erdanziehung oder der Schwere entgegen und verzögernd. Bei dem Werfen eines Körpers in die Luft sind zwei Bewegungskräfte thätig, die Stoßkraft, welche von einem sich ausdehnenden Körper ausgeht, und die Schwerkraft, — außer diesen beiden ist noch die Widerstandsbewegung zu berücksichtigen, welche von den zu verdrängenden Lufttheilchen auf einen geworfenen Körper ausgeübt wird. Je nach der Richtung, in welcher die Stoßkraft bei dem Werfen ausgeübt wird, wirkt die Schwerkraft mehr oder weniger verzögernd und richtungsändernd auf den geworfenen Körper ein. Wird ein Körper vertikal in die Höhe geworfen, so wirkt die Schwerkraft der Stoßkraft des Wurfes gerade entgegen und verzögernd auf die Bewegung des geworfenen Körpers. Die Kraft, mit welcher ein Körper in die Höhe geworfen wurde, hört auf, sobald die Anziehungskraft der Erde durch die Dauer zu solcher Größe angewachsen ist, welche der Größe der Stoßkraft, welche den Körper in die Höhe geworfen, gleich geworden ist. In diesem Moment fängt (außer dem Widerstand der Luft) die Schwerkraft an, allein auf den in die Höhe geworfenen Körper zu wirken, d. h. der Körper fängt an zu fallen. Ein geworfener Körper steigt daher

mit abnehmender Geschwindigkeit, und fällt — nach den oben erläuterten Gesetzen des Fallens — mit zunehmender Geschwindigkeit. Würde ein Körper mit einer Kraft vertikal in die Höhe geworfen, daß er in einer Sekunde 150 Fuß hoch steigen würde, so würde er, wenn ihm keine andere Kraft entgegenwirkte, in 5 Sekunden auf eine Höhe von 750 Fuß gekommen seyn. Da er aber von der Erde angezogen wird, und zwar in der ersten Sekunde mit einer Kraft, welche ihn ohne die Wurfkraft 15 Fuß durchfallen macht, — in der zweiten Sekunde mit einer Kraft von 60 Fuß, in der dritten von 135 Fuß, in der vierten von 240 Fuß, und in der fünften von 375 Fuß Falltiefe; — so wird die Höhe, welche er in der ersten Sekunde erreicht hat, 150 — 15 = 135 Fuß, in der zweiten Sekunde 300 — 60 = 240, in der dritten Sekunde 450 — 135 = 315, in der vierten Sekunde 600 — 240 = 360, und in der fünften Sekunde 750 — 375 = 375 Fuß betragen. Am Ende der fünften Sekunde ist aber die Anziehungskraft der Erde gleich der Stoßkraft des Wurfes, nämlich die Wirkung jeder dieser beiden Kräfte wäre die Bewegung eines Körpers durch einen Raum von 375 Fuß; — beide sich gleichen Kräfte heben sich also gegenseitig auf. Der 375 Fuß in die Höhe geworfene Körper fängt an zu fallen. Mit derselben Geschwindigkeit, als er gestiegen, fällt er auch, d. h. er kommt mit derselben Geschwindigkeit auf der Erde wieder an, mit welcher er von dieser ab in die Höhe geschleudert wurde. Er fällt nämlich in der sechsten Sekunde, nach dem Wurfe und bezüglich der ersten Sekunde seines Falles 15 Fuß tief, und gelangt zur Höhe 375 — 15 = 360 Fuß, — in der 7. oder 2. Sekunde fällt er 45 Fuß tief, gelangt also zur Höhe von 360 — 45 = 315 Fuß, u. s. f. in der 8. oder 3. Sekunde zu der Höhe 315 — 75 = 240 Fuß, in der 9. oder 4. Sekunde von 240 — 105 = 135 Fuß, und in der 10. oder 5. Sekunde zu der Höhe von 135 — 135 = 0 Fuß, nämlich auf den Boden.

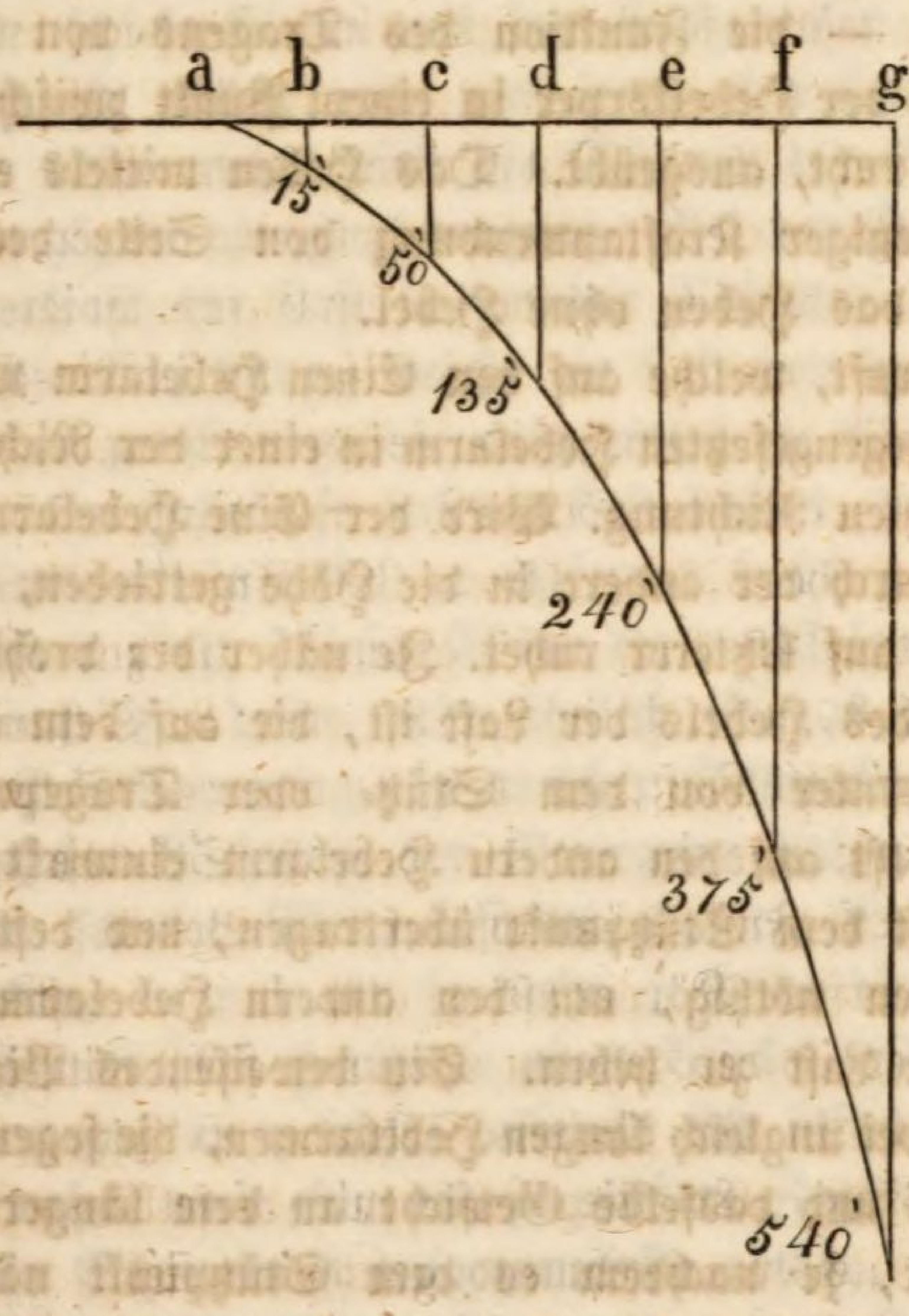
Der geworfene Körper stieg also in der ersten Sekunde eben so hoch, als er in der zehnten Sekunde fiel, nämlich 135 Fuß, — u. s. f. stieg er in der fünften Sekunde 15 Fuß, und fiel in der sechsten 15 Fuß. Er stieg also mit derselben abnehmenden Geschwindigkeit, als er zunehmend geschwind fiel.

Um einen Körper bis zu einer gewissen Höhe von z. B. 375 Fuß vertikal in die Höhe zu bewegen, muß man ihm daher eine Anfangsgeschwindigkeit ertheilen, die gerade so groß ist, als diejenige,

welche er durch den freien Fall von der Höhe von 375 Fuß herab erlangt.

Wird ein Körper in einer andern als vertikalen Richtung geworfen, so wird er von dieser Richtung durch die Kraft seiner Schwere abgelenkt, seine Bewegungsbahn wird eine krumme Linie. Wird er in einer schiefen Richtung in die Höhe geworfen, so bildet seine Bewegungsbahn eine Bogenlinie, in deren aufsteigender Hälfte die Wurfkraft die vorherrschende, und die Schwerkraft die verzögernde, — und in deren absteigender Hälfte die Schwerkraft die beschleunigende, und die Wurfkraft die verzögernde abgibt.

Wird ein Körper in horizontaler Richtung fortgestoßen, so bringt ihn seine Schwerkraft sogleich aus dieser Richtung in eine abwärts gehende krumme Linie (Parabol). Diese kann als die Resultante der horizontalen Stoßkraft und der vertikalen Schwerkraft angesehen werden. Ohne die Schwere würde der Körper fortwährend in horizontaler Richtung sich bewegen und zwar mit gleichförmiger Geschwindigkeit, er würde in der ersten Sekunde z. B. den Weg



a b, in der zweiten den gleich großen Weg b c, u. s. w. zurücklegen. Durch die Anziehungskraft der Erde wird er aber in der ersten Sekunde um 15 Fuß fallen, also nach dieser Zeit nicht in b, son-

dern 15 Fuß unterhalb b sich befinden, u. s. f. nach der sechsten Sekunde nicht in g, sondern 540 Fuß unterhalb g angelangt seyn.

Hebekraft. Das Aufheben eines Körpers kann dem Wurfe in vertikaler Richtung in die Höhe verglichen werden. Die Schwere des zu hebenden Körpers wirkt der Hebekraft entgegen, wirkt auf sie verzögernd ein. Das Tragen ist ein Heben auf den Punkt, bei dem die Hebekraft des Trägers der Schwerkraft der von der Erde angezogen werdenden Last das Gleichgewicht hält. Das Aufheben und Tragen einer Last geschieht am leichtesten an einem Punkt einer geraden Linie, welche den Schwerpunkt der Last mit dem Erdmittelpunkt verbindend gedacht wird.

Der Hebel ist ein Hebewerkzeug, welches die Funktion des Hebens und Tragens in sich vereinigt. Die Kraft, welche zum in die Höhe heben einer Last anzuwenden nöthig ist, wird bei dem Hebel, den man sich denkt als eine unbiegsame Linie, die um einen festen Punkt, den Stützpunkt drehbar ist, in zwei getheilt, — die Funktion des Hebens wird an den Enden der Hebellinie, den Hebelarmen, — die Funktion des Tragens von dem Stützpunkt, auf welchem der Hebelkörper in einem Punkt zwischen seinen beiden Endpunkten ruht, ausgeübt. Das Heben mittels eines Hebels hat also viel weniger Kraftanwendung von Seite des Hebenden von nöthen, als das Heben ohne Hebel.

Eine Kraft, welche auf den Einen Hebelarm wirkt, äußert sich an dem entgegengesetzten Hebelarm in einer der Richtung des erstern entgegengesetzten Richtung. Wird der Eine Hebelarm niedergedrückt, so wird dadurch der andere in die Höhe getrieben, — und mit ihm die Last, die auf letzterer ruhet. Je näher der drehbare Stütz- oder Tragepunkt des Hebels der Last ist, die auf dem einen Arm liegt, und je entfernter von dem Stütz- oder Tragepunkt die niederdrückende Kraft auf den andern Hebelarm einwirkt, desto schneller wird die Last dem Stützpunkt übertragen, und desto weniger Kraft ist anzuwenden nöthig, um den andern Hebelarm niederzudrücken und also die Last zu heben. Ein beweisendes Beispiel liefert die Wage mit zwei ungleich langen Hebelarmen, die sogenannte Schnellwage. Ein und dasselbe Gewicht an dem längern Hebelarm angehängt hält, je nachdem es dem Stützpunkt näher oder ferner gestellt ist, einer geringern oder größern Last an dem andern kürzeren Hebelarme der Wage das Gleichgewicht.

Eine Last kann auch durch die Rolle und den Flaschenzug,

eine vervielfältigte Rolle, — beide Hebelwerkzeuge mit biegsamen Hebelarmen und erhöhtem Stützpunkt, — gehoben oder in die Höhe gezogen werden. Durch Niederziehen des einen Endes des um die Rolle gehenden Seiles wird das andere Ende des Seiles, an welchem die Last befestigt ist, in die Höhe gezogen.

Die gewöhnliche Wage ist ein Hebel mit zwei unbiegsamen gleich langen Armen und einem über die Last erhöhten drehbaren Stützpunkt.

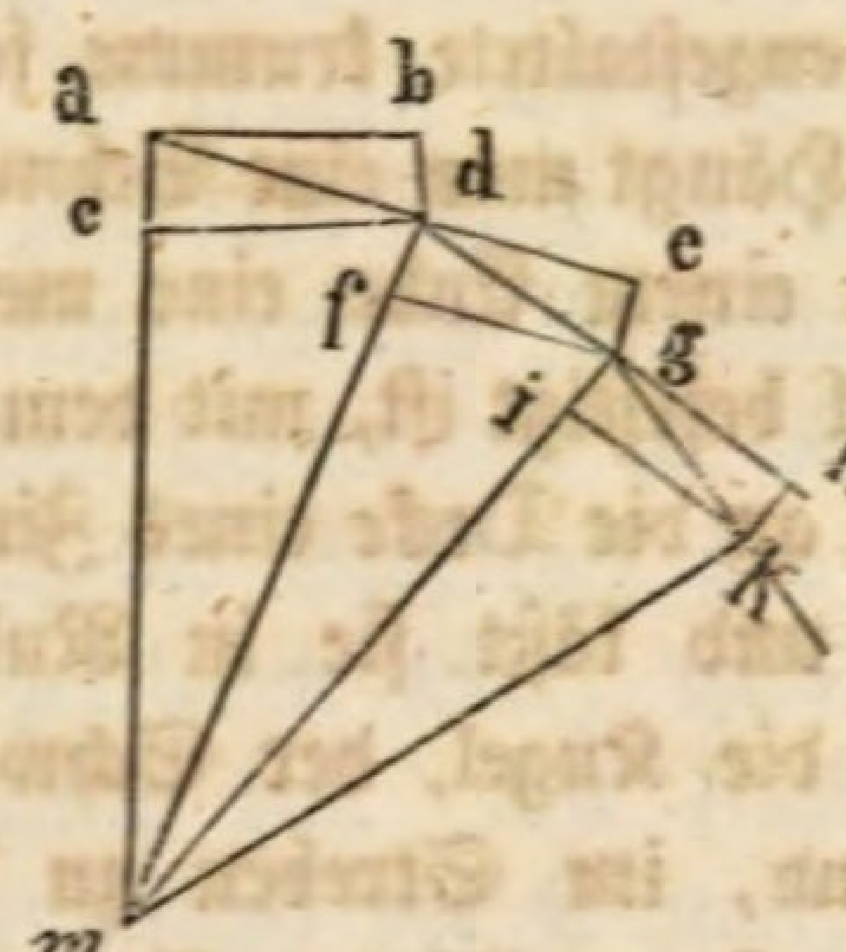
Ziehen oder Fahren von Lasten. Dem Werfen in horizontaler oder schiefer Richtung entspricht das Ziehen oder Fahren von Lasten auf einer ebenen Fläche oder einer schiefen Ebene. Die Schwerkraft der Last verzögert die beschleunigende Bewegung der Zugkraft. Die Zugkraft, welche gerade im Stande ist, eine Last auf horizontaler Ebene fortzubringen, ist es nicht mehr, um dieselbe Last auf einer schiefen Ebene bergauf zu ziehen, — und sie ist stärker, als nöthig ist, um sie bergab zu ziehen. Je steiler eine schiefe Ebene ist, d. h. einen je mehr einem Rechten nahe kommenden Winkel eine schiefe Ebene mit der horizontalen bildet, desto größere Zugkraft ist nöthig, um auf jener eine Last bergauf zu ziehen, — d. i. desto mehr wirkt die Schwere der Last der Zugkraft zuwider, verzögert die Zugbewegung. Bei der Hebelbewegung wirkt die Schwerkraft der Last in gerader Richtung der Hebekraft entgegen, d. i. die Anziehung, welche die Last von dem Erdmittelpunkte erleidet, hat geradewegs die entgegengesetzte Richtung zu der Richtung, welche die Hebekraft auf die Last äußert, welche die Last von dem Erdmittelpunkt vertikal zu entfernen sucht. Je mehr sich also die Flächenlinie einer schiefen Ebene der vertikalen nähert, d. i. je steiler die Ebene ist, desto mehr ähnlich ist das Bergaufziehen einer Last der Hebelbewegung, in welcher Schwerkraft und Zugkraft entgegengesetzte Richtung der Bewegung haben. Eine Last, die sich auf einer schiefen Ebene befindet, hat die Neigung, bergab zu fallen, zu rollen, — und um so mehr, je steiler die schiefe Ebene ist, je mehr diese mit dem Horizonte einen Winkel bildet, der einem Rechten nahe kommt, in welchem lothrecht sich befindend sie fallen würde. Es ist daher auch eine um so größere Zugkraft, d. i. eine Kraft, welche der Schwerkraft entgegenwirkt, nöthig, um einen auf einer schiefen Ebene befindlichen Körper vor dem Herabrollen zu schützen, je steiler die Ebene und je schwerer die Last auf derselben ist.

Reibungswiderstand. Aehnlich dem Widerstand, den die Atome des Mediums, durch welches hindurch ein schwerer Körper zu Boden fällt (Luft oder Wasser), dem der Schwerkraft folgenden Körper leisten, leistet auch dem Abrollen einer Last von einer schiefen Ebene und dem Hinaufziehen einer Last auf eine schiefe Ebene die Anziehung, welche die Atome der Last von den Atomen der Ebene, auf der sich die Last befindet, erleiden, ein Widerstand, den man Reibungswiderstand nennt. Je mehr Fläche, je mehr Berührungspunkte die Last der Unterlage bietet, je mehr Atome von dem Lastkörper und dem Unterlagskörper (der Ebene) sich einander berühren, gegenseitig anziehen, desto bedeutender ist der Reibungswiderstand. Der Reibungswiderstand verzögert daher auch sowol die Bewegung des Aufwärtsziehens, als des Abrollens einer Last auf einer schiefen Ebene, sowie das Ziehen und Schieben einer Last auf einer horizontalen Ebene.

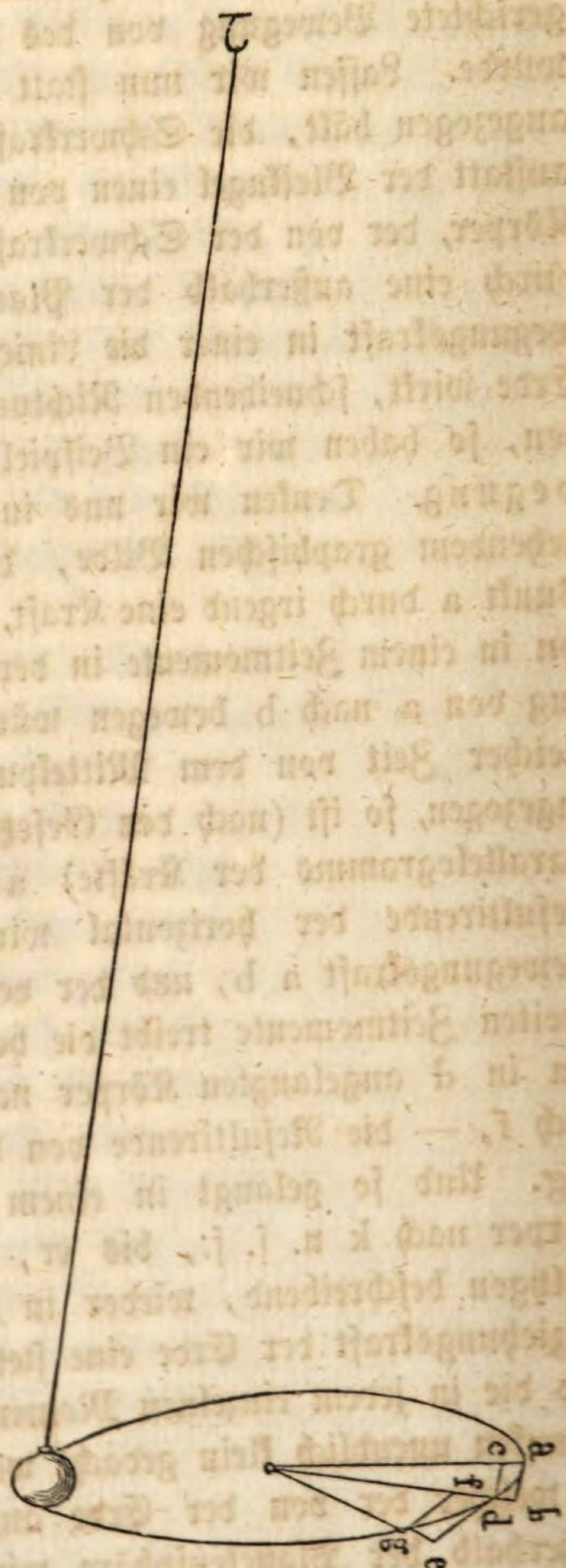
Trägheit eines schweren Körpers. Wenn die Kraft, welche einen auf der Erde ruhenden, von der Erde getragenen Körper von der Stelle bewegen soll, geringer ist, als die Anziehungskraft, welche der Erdmittelpunkt auf diesen Körper ausübt, — als des Körpers Schwerkraft, so bleibt derselbe in Ruhe, er ist träge. Um einen Körper in Bewegung zu setzen, muß seine Trägheit überwunden werden, d. i. die Bewegungskraft muß größer seyn, als die Anziehungskraft der Erde auf den Körper. Ein Körper kommt zur Ruhe, wenn die Kraft, die ihn bewegte, aufgehört hat, größer zu seyn, als seine Schwerkraft, wenn er seiner Trägheit, dem von der Erde Getragenwerden, allein überlassen bleibt.

Kreisbewegung. Wenn man eine biegsame Schnur von beliebiger Länge, an deren einem Ende ein schwerer Körper, z. B. eine Bleikugel befestigt ist, an dem andern Ende mit der Hand festhält, und alsdann diese im Kreise herumbewegt, so wird die Schnur gespannt und ihr Kugelende im Kreis herumgeschwungen. Man nennt die Ursache dieser Kreisbewegung der an der Schnur hängenden Bleikugel die Schwungkraft, auch Fliehkraft und daher Centrifugalkraft. Würde die Schnur während der Schwungbewegung im Kreise plötzlich durchschnitten, so würde die Bleikugel in einer abwärts von der Kreislinie weg gehenden linearen Richtung fortgeschleudert werden. Es ist hieraus zu ersehen, daß die Bleikugel während des Schwingens im Kreise durch die Schnur von der Hand, als dem Mittelpunkt des beschriebenen Kreises, an=

gehalten, also von dem Mittelpunkt des Kreises angezogen worden war, während sie durch eine von der Hand ausgehende, und durch die Schnur fortgeleitete zum Radius des Kreises seitlich oder quer gerichtete Bewegung von des Kreises Mittelpunkt hinweggetrieben wurde. Lassen wir nun statt der Schnur, welche die Bleikugel angezogen hält, die Schwerkraft der Erde wirkend eintreten, und anstatt der Bleikugel einen von dem Erdmittelpunkt weit entfernten Körper, der von der Schwerkraft angezogen wird, z. B. den Mond durch eine außerhalb der Planetensphäre der Erde liegende Bewegungskraft in einer die Linie, in welcher die Schwerkraft der Erde wirkt, schneidenden Richtung von der Erde weggetrieben werden, so haben wir ein Beispiel im Großen von einer Kreisbewegung. Denken wir uns in nebenstehendem graphischen Bilde, daß der Punkt a durch irgend eine Kraft, welche ihn in einem Zeitmomente in der Richtung von a nach b bewegen würde, zu gleicher Zeit von dem Mittelpunkt m angezogen, so ist (nach den Gesetzen des Parallelogramms der Kräfte) a d die Resultirende der horizontal wirkenden Bewegungskraft a b, und der vertikal wirkenden a m. In einem zweiten Zeitmomente treibt die horizontal wirkende Bewegungskraft den in d angelangten Körper nach e, die Schwerkraft der Erde nach f, — die Resultirende von den Kräften d e und d f ist aber d g. Und so gelangt in einem dritten Zeitmomente der bewegte Körper nach k u. s. f., bis er, ein einem Kreise nahe kommendes Polygon beschreibend, wieder in a angekommen ist. Da aber die Anziehungskraft der Erde eine stetig wirkende ist, die Zeitmomente und die in jedem einzelnen Moment in der Resultante durchlaufenen Strecken unendlich klein gedacht werden müssen, so muß die Bahn, in welcher der von der Erde angezogene und von einer andern außerhalb der Planetensphäre wirkenden Kraft abgelenkte Körper, der Mond, sich bewegt, eine Kreislinie seyn. Die Kraft, welche den Körper stets nach dem Anziehungsmittelpunkt hinzieht, wird mit dem Namen Centripetalkraft, — und die Kraft, welche den von der Kraft des Anziehungsmittelpunktes angezogenen Körper in einer die vertikale Richtung winkelig schneidenden Richtung ablenkt, wird mit dem Namen Tangentialkraft bezeichnet. In



so fern die Tangentialkraft der Wirkung der Centripetalkraft hinderlich ist, den Körper abhält, zum Anziehungsmittelpunkt zu fallen, kann sie auch **Centrifugalkraft** genannt werden.



Je nach dem Verhältniß zwischen Tangentialkraft und Centripetalkraft, oder, wenn letztere eine gleichförmig wirkende ist, je nach der geringeren oder größeren Entfernung des bewegten Körpers von der Quelle der Tangentialkraft, — kann die Bahn ein Kreis, eine Ellipse oder verschiedengestaltete krumme seyn.

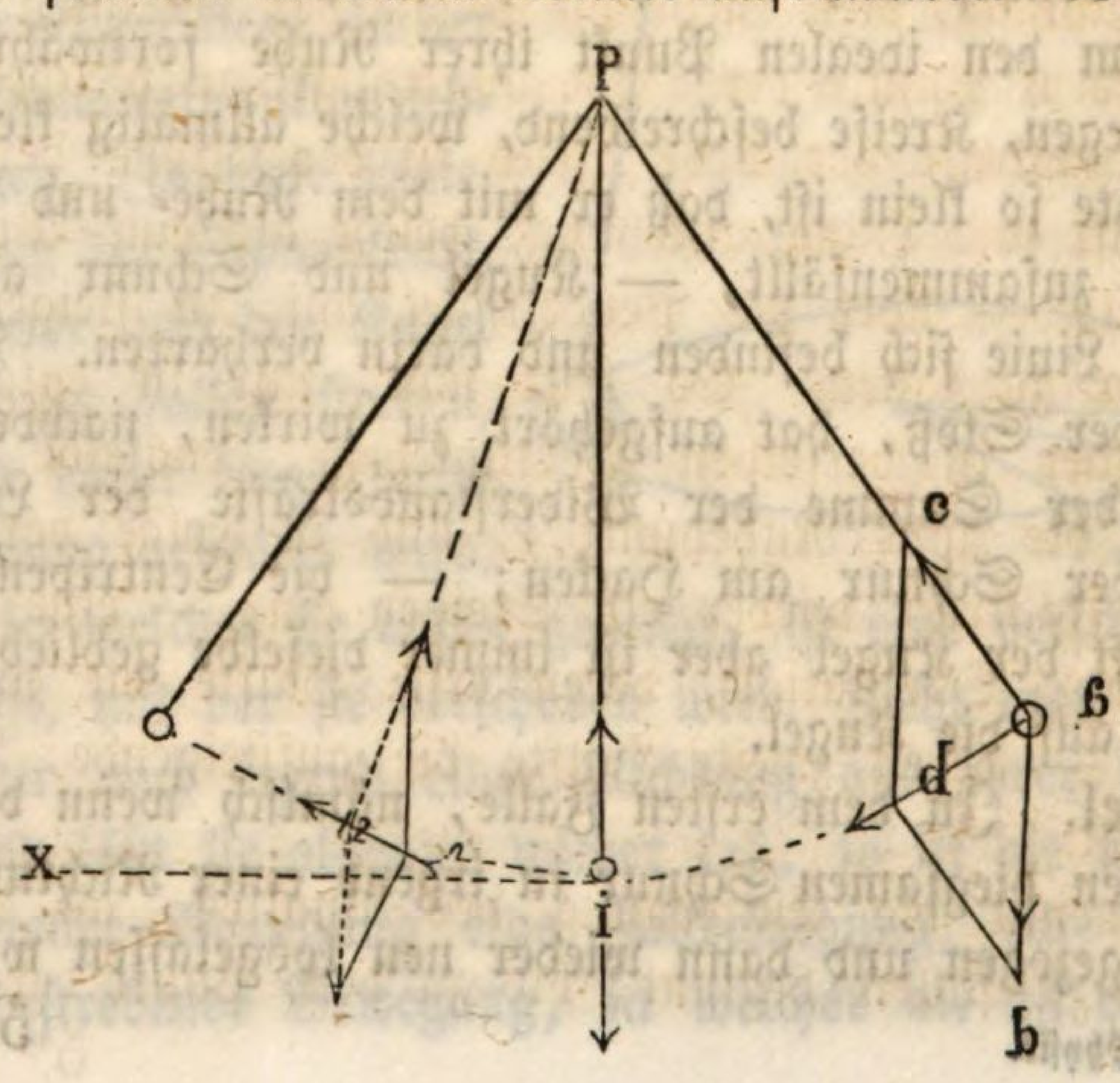
Hängt man eine Schnur, an deren einem Ende eine metallene Kugel befestigt ist, mit dem freien Ende an die Decke eines Zimmers auf, und läßt sie in Ruhe, so wird die Kugel, der Schwerkraft folgend, im Streben zu fallen, woran sie endlich das Aufgehängtseyn der Schnur hindert, sammt der Schnur eine lothrechte Stellung haben, — Schnur und Kugel werden mit ihrem Schwerpunkt, welcher in der Kugel liegt, in der vertikalen Erdmittelpunktanziehungslinie liegen. In diese Linie, in die Richtung der Schwerkraft, wird die Schnur mit der Kugel immer wieder zu fallen streben, wenn sie aus dieser Lage durch eine Verschiebung gebracht wird. Die Weise, in welcher sie dahin gelangt, ist eine verschiedene, je nach der Weise, mit der sie verschoben wird. Zieht man die Kugel an der Schnur nach irgend einer Richtung aus ihrer lothrechten Ruhelage, und läßt sie alsdann wieder los, so ist die unmittelbar darauf eintretende Bewegung eine Fallbewegung, eine nach dem tiefsten Punkt strebende Bewegung, in welcher die an der Schnur

befestigte Kugel mit ihrem Schwerpunkt in die Erdanziehungslinie fällt. Wird aber bei dem Loslassen der Kugel dieser noch ein seitlicher, die Richtung, in welcher die Kugel zu fallen strebt, durchschneidender Stoß beigebracht, so bewegt sich die Kugel in der Resultante des Stoßes oder der Tangentialkraft, und des Falles, oder der Kraft, welche die Kugel zu dem Punkt hinzieht, in welchem sie in ihrer Ruhe sich befindet, d. i. in welcher ihr Schwerpunkt in der Resultante der auf die Kugel wirkenden Schwer- oder Erdanziehungskräfte sich befindet. Dieser Punkt kann als der Punkt angesehen werden, zu welchem die Metallkugel hingezogen wird, welcher den Mittelpunkt der Anziehung abgibt, — und die Kraft, welche sie hinzieht, eine Centripetalkraft genannt werden. Denken wir uns, wie oben bei der Kreisbewegung des Mondes, die Zeit der Bewegung in Zeittheilchen abgetheilt, so können wir uns auch vorstellen, wie der Punkt a durch den seitlichen Stoß in einem Zeitmomente nach b getrieben wird, in einem andern Zeitmomente nach c durch die Fallkraft, — also in beiden Momenten die Resultante a d durchläuft, — und so fort durch die Stoßkraft d e und die Fallkraft d f in die Richtung d g getrieben wird, was als Folge wie oben gesehen eine Kreisbewegung hat. Die Fallkraft wirkt stetig und unaufhörlich auf die Metallkugel der Schnur, die Stoßkraft nur so lange, als sie nicht von dem Widerstand der Luft und der Reibung der Schnur an dem Hacken, an welchem sie aufgehängt ist, aufgehoben wird. In der That sehen wir die Kugel einer Schnur, welche an der Decke hängt, wenn ihr, herausgezogen aus ihrem Ruhepunkt, eine seitliche Stoßbewegung beigebracht ist worden, um den idealen Punkt ihrer Ruhe fortwährend sich im Kreise bewegen, Kreise beschreibend, welche allmälig kleiner werden, bis der letzte so klein ist, daß er mit dem Ruhe- und Schwerpunkt der Kugel zusammenfällt, — Kugel und Schnur also in Einer lothrechten Linie sich befinden und darin verharren. Die Tangentialkraft, der Stoß, hat aufgehört zu wirken, nachdem sie gleich geworden der Summe der Widerstandskräfte der Luft und der Reibung der Schnur am Hacken; — die Centripentalkraft, die Schwerkraft der Kugel aber ist immer dieselbe geblieben, sie allein wirkt nun auf die Kugel.

Pendel. In dem ersten Falle, nämlich wenn die Kugel der aufgehängten biegsamen Schnur in irgend einer Richtung aus ihrer Ruhelage gezogen und dann wieder neu losgelassen wird, fällt die

Kugel in gerader Linie in den Ruhepunkt zurück, und steigt alsdann, ohne in diesem zu verweilen, in derselben Linie nach der entgegengesetzten Seite des Ruhepunktes so weit in die Höhe, als sie von der andern Seite von dem Punkte, wo die Kugel freigelassen wurde, herabgefallen war. Von dieser Höhe jenseits des Ruhepunktes fällt die Kugel in derselben Linie wieder herab zu dem Ruhepunkt, und steigt diesseits des letztern wieder in die Höhe bis, vielmehr beinahe bis zu dem Punkt, an welchem sie losgelassen wurde. Alsdann fällt sie wieder bis zum Ruhepunkt herab, steigt wieder jenseits in die Höhe, und so fort fällt und steigt sie jenseits und diesseits, und wieder diesseits und jenseits, — das heißt sie schwingt hin und her, was man nennt die **Pendelschwingung** von **Pendula, eine aufgehängte biegsame Schnur mit einem schweren Punkt an dem freien Ende.**

Bei dem Herabfallen des schweren Punktes des Pendels, der Metallkugel, sind zwei Kräfte thätig, nämlich die Schwerkraft, welche die Kugel in vertikaler Richtung anzieht, und die Kraft, mit welcher die biegsame Schnur mit dem schweren Punkt an die Hängestütze, den Hacken oder drgl. angehalten wird. Beide Kräfte ziehen den schweren Punkt des Pendels, die Metallkugel an. In der vertikalen Linie der Ruhelage des Pendels, in welcher nämlich Schnur, der Kugel Schwerpunkt und die Resultante der Schwerkräfte des Pendels zugleich liegen, wirken jene beiden Kräfte in gerade sich entgegengesetzter Richtung, was die Spannung der biegsamen Schnur zur Folge hat. In jeder andern Lage stoßen beide Kräfte nicht in Einer Linie, sondern in einem Winkel aufeinander. Die Wirkung



beider Kräfte liegt nach dem Gesetze des Parallelogrammes der Kräfte in der Diagonale des Parallelogrammes der Richtungen der beiden Kräfte. Die Resultirende der beiden Anziehungskräfte a b und a c ist a d und hat die Richtung zu dem Ruhepunkt des schweren Punktes des Pendels p a. Die Pendelkugel wird also von Punkt zu Punkt eines von dem Pendel um den Aufhängepunkt p beschriebenen Kreisbogens bis zu dem Ruhepunkt getrieben, und von da, weil hier außer der atmosphärischen Luft kein Widerstand vorhanden ist, wirkt die von a bis i (weil a höher als i, als Fallkraft zu betrachtende) resultirende Bewegungskraft als Stoßkraft, welche die Pendelkugel fortzuschleudern vermag, und zwar in einer horizontalen Richtung i x. Aus dieser horizontalen Richtung wird sie durch den Zug der aufgehängten Schnur in der Bogenlinie eines Kreises erhalten, welcher mit der Pendellänge als Radius (Halbmesser) um den Aufhängepunkt p beschrieben gedacht werden muß. Durch die Schwerkraft der Kugel wird ihrem Steigen in die Höhe des Kreises Einhalt gethan. Es wirken bei dem Aufsteigen der Pendelkugel (Aufschwung), auf die halbe aufsteigende Oscillation drei Kräfte: die in Stoßkraft umgewandelte Fallkraft von a nach i, in horizontaler Richtung, zweitens die Anziehung des Pendels am Aufhängepunkt als beschleunigende, und drittens die Erdanziehungskraft auf die Pendelkugel als verzögernde Kraft. Die Bewegung von i nach n ist erstens die Resultante von der Stoßkraft und Hängeanziehung und dann die Resultante der Erdanziehungskraft und der Resultante der beiden obigen. Jene bestimmt mehr die Richtung, diese mehr die Größe der vereinten Bewegungskräfte. An dem Punkte der Höhe angelangt, an welcher die Größe der Anziehungskraft der Erde gleich ist der Größe der Resultante der Stoßkraft und Hängeanziehung, welche als eine Wurfbewegung anzusehen ist, — hört die Pendelkugel auf, zu steigen, und beginnt wieder zu fallen. Es tritt nun, nur in entgegengesetzter Richtung aber in derselben Vertikalebene, dasselbe Fallen der Pendelkugel bis zum Ruhepunkt i, und in Folge der zum Stoß gewordenen Fallkraft wieder ein Steigen ein, — eine zweite Pendelschwingung, Oscillation, deren erste Hälfte die niedergehende, Abschwung, — deren zweite Hälfte die aufsteigende, Aufschwung, zu nennen ist.

Man nennt die Entfernung des Punktes, an welchem die Pendelkugel zu fallen beginnt, bis zu dem Punkt der entgegenge-

setzten Seite, bis zu welchem sie in die Höhe gestiegen ist, die Weite der Schwingung, Amplitude. Man theilt den Kreisbogen, den ein schwingendes Pendel beschreibt, zum Zweck der Vergleichung und Messung in Grade ab.

Die Schwingungen eines Pendels setzen sich von selbst so lange fort, bis allmählig durch den Widerstand der Luft und der Reibung der Schnur an dem Aufhängeapparat die aus der Fallkraft der halben niedergehenden Oscillation in eine Wurfkraft sich verwandelnde Stoßkraft verringert und der Widerstandskraft der Luft und der Reibung gleich geworden ist, — das Pendel also in seinem Ruhepunkt verharren kann. Die Amplitude einer folgenden Oscillation wird also immer um etwas kleiner seyn, als die der vorhergehenden, — bis die der letzten gleich Null ist.

Die Dauer einer Oscillation nennt man die Zeit, welche ein Pendel nöthig hat, um eine ganze Schwingung zu machen. Galiläi hatte zuerst die Beobachtung gemacht, daß die Dauer kleiner Oscillationen eines und desselben Pendels von ihrer Amplitude unabhängig ist, d. h. daß die Schwingungen eines und desselben Pendels isochron sind. Man nennt diese feststehende Beobachtung das Gesetz des Isochronismus. Die Geschwindigkeit des Falles nimmt nämlich mit der Fallzeit zu, und zwar, wie oben erläutert worden, im quadratischen Verhältniß der Fallzeit. Je länger also die Pendelkugel fällt, desto schneller fällt sie. Je kürzere Zeit sie fällt, desto langsamer fällt sie. Wird die Fall-Länge kürzer, so wird auch die Geschwindigkeit des Fallens geringer, und zwar um so viel, als jene kürzer geworden ist. Mit der Geschwindigkeit aber die Pendelkugel fällt, mit der wird sie auch in die Höhe geschleudert, denn von der Geschwindigkeit des Falles der Pendelkugel hängt auch die Größe der Stoßkraft ab, in welche sich die Kraft des Fallens verwandelt. Und mit der Geschwindigkeit die Pendelkugel in die Höhe geschleudert wird, mit derselben gelangt sie fallend wieder am Ruhepunkt an. Daraus erhellt auch, daß die Pendelkugel mit der größten Geschwindigkeit sich bewegt, wenn sie eben durch den Ruhepunkt des Pendels geht. Um wie viel daher eine Schwingung eines Pendels breiter ist, als eine andere folgende Schwingung desselben Pendels, um so viel schneller geht jene von statten, als diese, — und um so viel kleiner die Amplitude einer folgenden Schwingung desselben Pendels ist, um so viel langsamer durchläuft die Pendelkugel die kürzere Schwingungsbahn. Wird

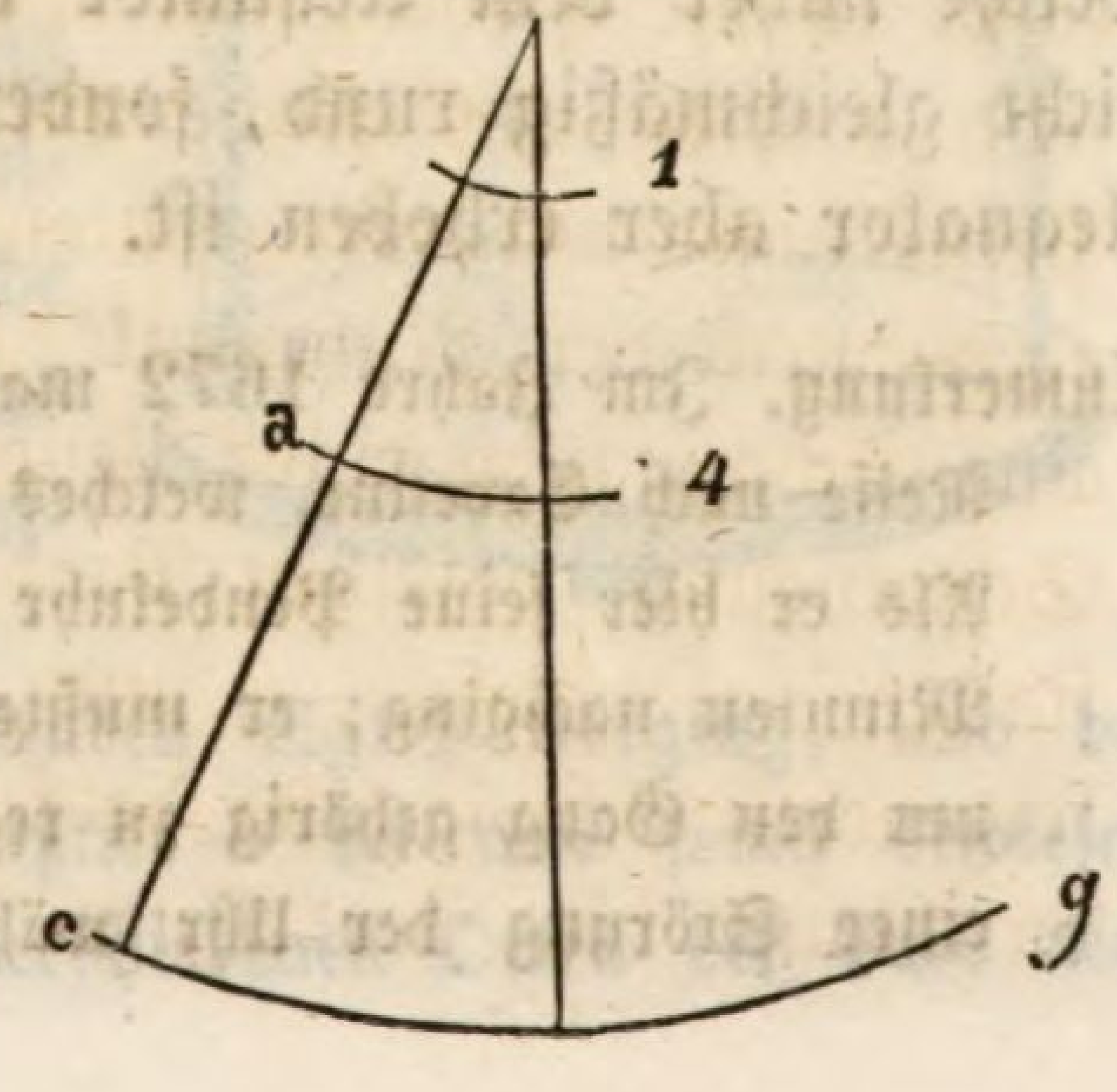
nun ein Pendel in Schwingung versetzt, so sind seine ersteren Schwingungen mit einer größeren Amplitude von eben so langer Zeitdauer, als seine späteren Schwingungen mit einer geringeren Amplitude, — seine letzten Schwingungen dauern eben so lang als seine ersteren, und die in dem mittleren Stadium seines Schwingens, d. h. die einzelnen Schwingungen eines und desselben Pendels sind isochron.

Eine zweite zum Gesetz erhobene Beobachtung ist, daß die Dauer der Schwingungen vom Gewichte der Kugel und von der Natur ihrer Substanz unabhängig ist. Die Dauer der Schwingung hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der die Pendelkugel fällt. Nachdem es aber erwiesen ist, daß Körper von größerem Gewicht mit eben der Geschwindigkeit in gleicher Zeit fallen, als Körper von geringerem Gewicht, weil nämlich die Schwere oder die Anziehungskraft der Erde auf jedes Atom der Pendelkugel wirkt, — so unterliegt auch obiges Gesetz keinem Zweifel.

Das dritte Gesetz der Pendelschwingungen ist: Die Schwingungsdauer zweier ungleich langer Pendel verhält sich wie die Quadratwurzel aus den Pendellängen. Wenn sich z. B. von drei Pendeln die Pendellängen wie die Zahlen 1, 4, 9 verhalten, so verhalten sich die entsprechenden Schwingungszeiten wie die Zahlen 1, 2, 3. Während ein Pendel, dessen Länge 4 Fuß ist, eine Oscillation macht, macht das viermal kürzere Pendel zwei Oscillationen, und während ein Pendel von 1 Fuß Länge dreimal hin und her geht, macht ein 9 Fuß langes Pendel nur eine Schwingung. (Zu einem solchen Versuch ist es am bequemsten, die Kugeln an zwei Fäden aufzuhängen.)



Ein viermal längeres Pendel nämlich hat bei gleich starker Anziehungskraft der Erde auf seinen schweren Punkt einen viermal längeren Kreisbogen, ein neunmal längeres Pendel, einen neunmal größeren Kreisbogen während des Fallens und Steigens seiner Kugel zu machen, diese also bei derselben (beschleunigenden)



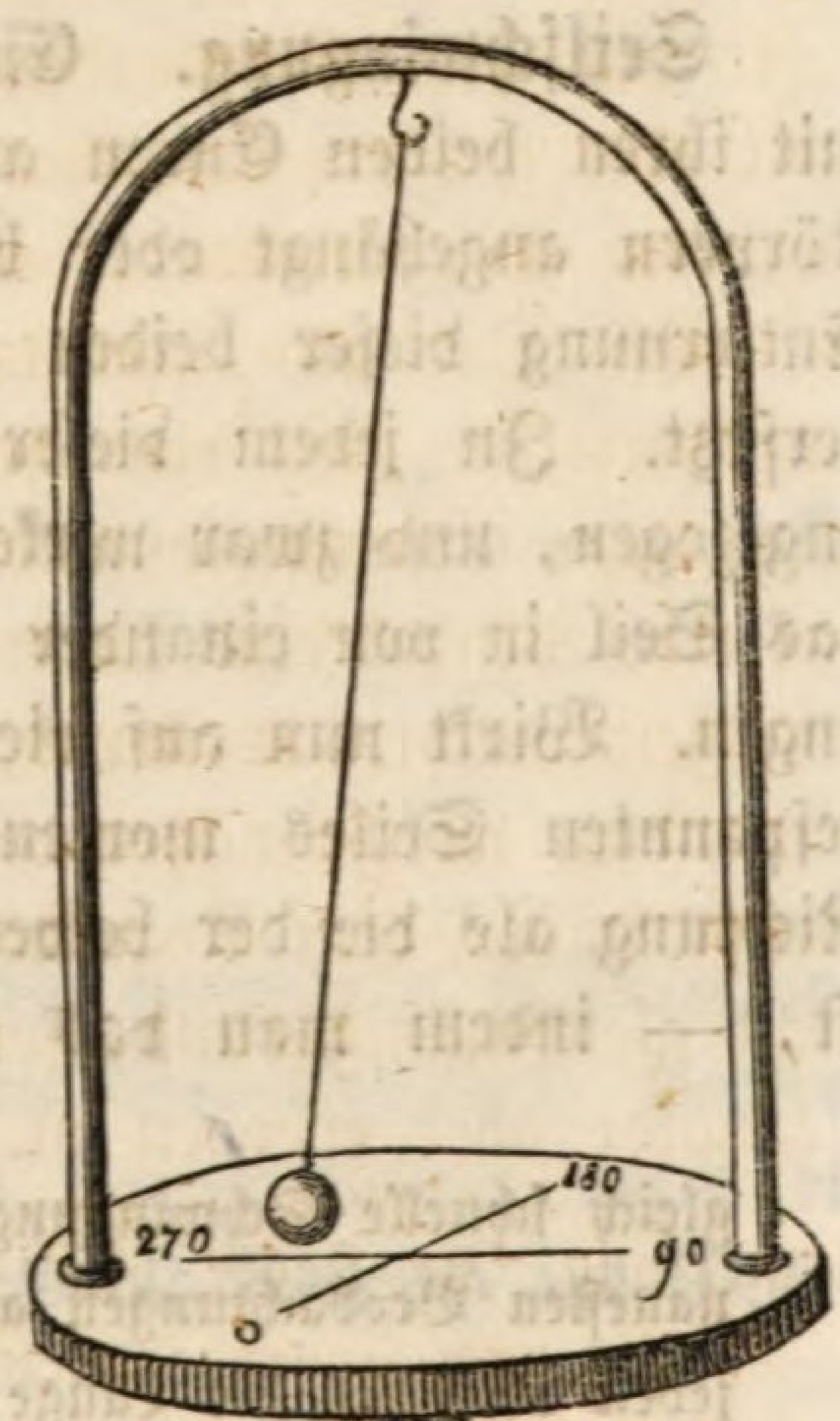
Bewegungskraft einen viermal und neunmal größeren Raum zu durchgehen, also muß ein Pendel von viermal größerer Länge zu einer Schwingung eine viermal längere Zeit, und ein Pendel von neunmal größerer Länge eine neunmal längere Zeit gebrauchen, als ein Pendel, welches vier- und neunmal kürzer ist. Und daher wird ein vier- und neunmal kürzeres Pendel zu einer Schwingung eine vier- und neunmal kürzere Zeit nöthig haben, als ein vier- und neunmal längeres Pendel. Während also ein neunmal längeres Pendel eine Schwingung macht, kann ein neunmal kürzeres Pendel drei Schwingungen machen, und ebenso in derselben zwei Schwingungen machen, während ein viermal längeres Pendel eine macht.

Ist die Anziehungskraft der Erde auf den schweren Punkt eines Pendels an dem einen Ort größer, als an einem andern Ort, so wird ein und dasselbe Pendel oder Pendel von ein und derselben Länge an jenem Ort schneller schwingen, als an einem Ort von geringerer Erdanziehungskraft. Ein und dasselbe Pendel wird also an einem Ort mit größerer Erdanziehungskraft in ein und derselben Zeit z. B. in einer Minute mehr Schwingungen machen, als an einem andern Orte mit geringerer Erdanziehungskraft. Da die Schwerkraft mit dem Quadrat der Entfernung von dem Mittelpunkt der Erde abnimmt, so wird ein Pendel an einem Ort, welcher tiefer und dem Erdmittelpunkte näher liegt, in ein und derselben Zeit eine größere Anzahl von Schwingungen machen, als an einem von dem Erdmittelpunkt entfernteren Ort.

Ein Ort also, an welchem ein und dasselbe Pendel in ein und derselben Zeit eine größere Anzahl von Schwingungen macht, wird dem Erdmittelpunkt näher liegen, als ein Ort, an welchem dasselbe Pendel eine kleinere Anzahl von Schwingungen in derselben Zeit macht. Ersteres, hat man gefunden, ist der Fall in den Gegenden, welche näher den Polen der Erde, letzteres in Gegenden, welche näher dem Aequator liegen, — ein Beweis, daß die Erde nicht gleichmäßig rund, sondern an den Polen abgeplattet, an dem Aequator aber erhoben ist.

Anmerkung. Im Jahre 1672 machte der französische Astronom Richer eine Reise nach Cayenne, welches nur 5 Grad nördlich vom Aequator liegt. Als er hier seine Pendeluhr aufstellte, fand er, daß sie täglich 2½ Minuten nachging; er mußte das Pendel nahe um ⁵⁄₄ Linien verkürzen, um den Gang gehörig zu reguliren. Er konnte dieß um so weniger einer Störung der Uhr während der Reise zuschreiben, da die Uhr,

Ein einfaches Pendel, welches in einer bestimmten Ebene schwingt, behält seine Schwingungsebene unverändert bei, wenn nicht äußere Kräfte, welche größer sind, als die Schwingungskraft (die Erdanziehungskraft), es aus derselben verdrängen. Denn von dieser (beziehungsweise von der Resultante der Schwerkraft als der beschleunigenden, und der Hängeanziehung als der verzögernden Seitenkraft) hängt die Richtung der Bewegung der Pendelkugel ab. Eine Drehung der Pendelschnur um ihre Längenaxe hat keinen ändernden Einfluß auf die Richtung der Schwingungen, sie ist zu gering im Verhältniß zur Schwingungskraft, — die Störung der Schwingung durch die Drehung der Pendelschnur um ihre Längenaxe ist zu unbedeutend, als daß sie zu bemerken wäre, und hat nur Einfluß auf die absolute Dauer der Schwingungen sich zugesellend zu dem Reibungswiderstand und dem Widerstand der Luft, denn die Richtung der Schwingung oder vielmehr die Richtung der Fallbewegung und der von dieser abhängigen Wurfbewegung des Pendels hängt von dem Schwerpunkt des Pendels ab, mit dem er fällt, — und dieser liegt in dem schwersten Theil des Pendels, in der Pendelkugel. Mit diesem schwingt das Pendel, und der Schwingungspunkt des Pendels liegt unmittelbar unter seinem Schwerpunkt.



Mit Hilfe des nebenan gezeichneten Apparates läßt sich die Erhaltung der Schwingungsebene eines Pendels leicht ersehen. Wird die Pendelkugel durch Verrückung aus ihrer Ruhelage in Schwingung versetzt, und alsdann die Scheibe, auf welcher der Bogen befestigt ist, an welchem die Pendelschnur hängt, um ihre Axe ringsum gedreht, so kann man die Schwingungsrichtung immer dieselbe bleiben sehen. Ein Pendel auf einem der Pole unserer Erde angebracht, würde demgemäß, wenn das Pendel so groß wäre, daß es 24 Stun-

nach Paris zurückgebracht, 148 Sekunden täglich vorging, und das Pendel deßhalb verlängert werden mußte. — Es war somit erwiesen, daß ein und dasselbe Pendel an verschiedenen Orten der Erde nicht

den schwingen würde, für den Zuschauer, der sich mit der Erde um ihre Axe herumdrehet, nach und nach in der Richtung nach Ostwest, Südnord, Westost, Nordsüd auf dem Nordpol, — und nach Ostwest, Nordsüd, Westost und Südnord auf dem Südpol zu schwingen scheinen.

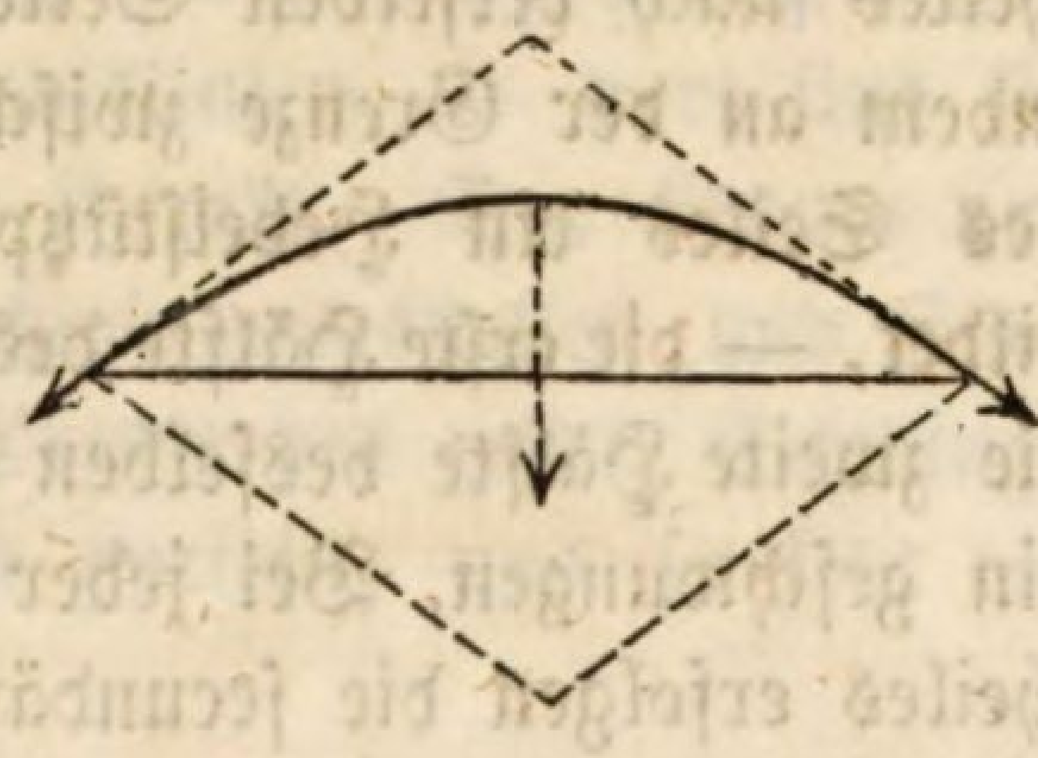
In den Aequatorialgegenden aber ist eine solche scheinbare Drehung der Schwingungsebene eines Pendels nicht bemerkbar. Je weiter man sich aber vom Aequator entfernt und den Polen mehr nähert, desto mehr ist eine solch scheinbare Veränderung der Schwingungsebene des Pendels bemerkbar.

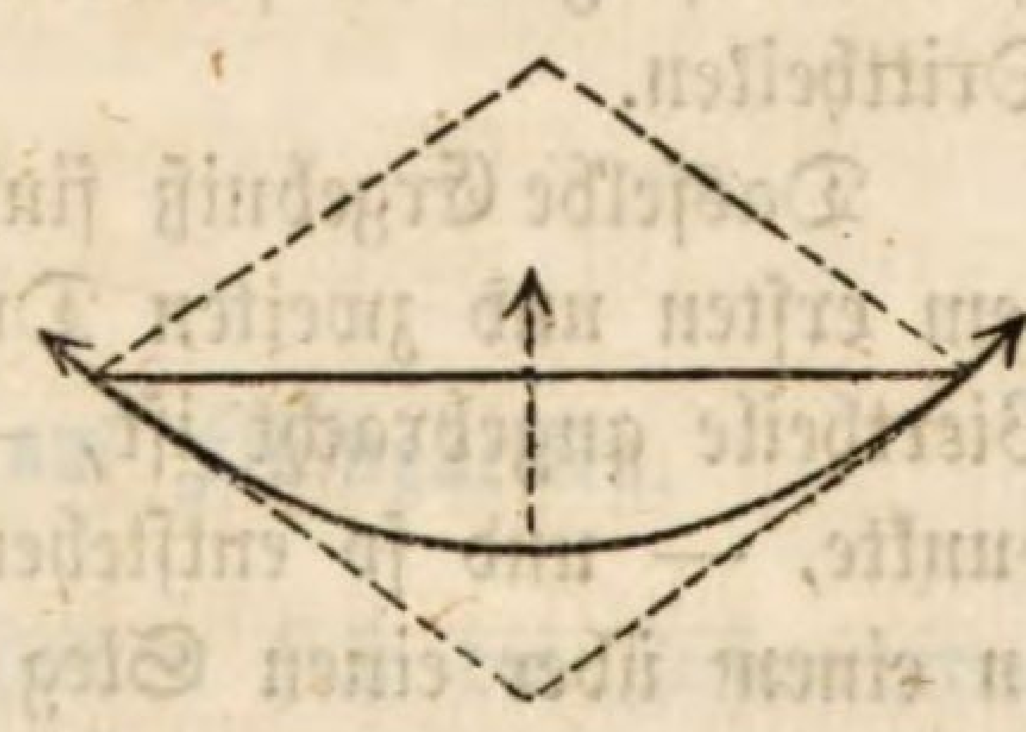
Foucault war der erste, der auf den Gedanken kam, daß eine solch scheinbare Drehung der Schwingungsebene eines einfachen Pendels die nothwendige Folge der Umdrehung der Erde um ihre Axe und zugleich ein Beweis dafür seyn müsse, und bestätigte dieß auch in einem großartigen Experimente, — nämlich, daß er im Meridiansaale der Pariser Sternwarte ein 67 Meter langes Pendel mit einer 28 Kilogramm schweren Kugel an einem Stahldrahte schwingen ließ. In Paris beträgt die scheinbare Drehung der Schwingungsebene eines einfachen Pendels etwas über 11 Grade in einer Stunde.

Seilschwingung. Eine biegsame Schnur, ein Seil, welche mit ihren beiden Enden an zwei sich entgegengesetzten feststehenden Körpern angehängt oder befestigt ist, wird durch eine hinreichende Entfernung dieser beiden Hängestützkörper in gespannten Zustand versetzt. In jedem dieser beiden Aufhängepunkte wird das Seil angezogen, und zwar wirken die Anziehungskräfte an denselben auf das Seil in von einander sich entfernenden entgegengesetzten Richtungen. Wirkt nun auf die Mitte oder auf irgend einen Punkt des gespannten Seiles momentan eine Kraft, aber in einer andern Richtung als die der beiden Anziehungskräfte an des Seiles Enden ist, — indem man das gespannte Seil an irgend einem Punkt

gleich schnelle Schwingungen macht. Man stellte daher später die genauesten Beobachtungen an verschiedenen Orten an und bestimmte für jeden derselben die Länge des Sekundenpendels, z. B. für St. Thomas, welches 0° 24′ 41″ vom Aequator entfernt liegt, ist die Länge des Sekundenpendels 39,012 Pariser Zoll, — für London, welches 51° 31′ 8″ nördlich vom Aequator liegt, ist die Länge des Sekundenpendels 39,139 P. Z., und für Spitzbergen 79° 49′ 58″ n. Br. 39,215 P. Z.

verzieht oder auf dasselbe stößt, schlägt oder streicht, — so treten Schwingungen, d. i. Hin- und Herbewegungen des Seiles ein. Wird das z. B. horizontal gespannte Seil in einen rechten Winkel in seiner Längenmitte mit den Fingern in die Höhe gezogen, und dann wieder losgelassen, so bleibt das in seine vorige horizontal gespannte Lage zurückkehrende Seil nicht sogleich in derselben, sondern schwingt unter der geraden horizontalen Linie so weit oder beinahe so weit abwärts, als es in die Höhe gezogen ward, — und so fort schwingt es wieder so hoch oder beinahe so hoch über die gerade Spannungslinie hinaus, als es vorher von der Höhe in die Tiefe geschleudert wurde, und so fort, bis der Widerstand der Luft, in welcher das Seil sich befindet, und der Reibungswiderstand der Schwungkraft an Größe gleichgekommen sind, und das Seil in seiner geradlinigen horizontal gespannten Stellung endlich bleibt. Die Schwungkraft des Seiles wird durch die beiden Anziehungskräfte der Aufhänge- oder Befestigungspunkte des Seiles hervorgebracht, deren Resultante sie ist.





Diese geht aber in unserem Beispiel vertikal abwärts und ist in ihrer Größe gleich der Kraft, welche das Seil zuerst vertikal aufwärts gezogen hat. Sie bewegt also das Seil so tief abwärts, bis sie gleich gekommen ist einer zweiten Resultante der beiden seitlichen Anziehungskräfte, welche in der veränderten Lage des Seiles, oder vielmehr der beiden Hälften des Seiles in anderer Richtung, schief nach aufwärts gehender nämlich, auf die Mitte des Seiles wirken. Es tritt nun die umgekehrte Weise der Bewegung ein, und so fort die wechselnde Schwingung abwärts und aufwärts, — die einzelnen Schwingungen werden, wie bei der Pendelschwingung, allmählig immer kleiner durch die Einwirkung des Widerstandes der Luft und die Reibung des Seiles an seinen Befestigungspunkten.

Die Schwingungsamplitude ist um so größer, je größer die dritte Kraft ist, welche das Seil aus seiner gespannten Stellung bringt, und je geringer die Spannung des Seiles ist; — und die Schwingungsamplitude ist um so kleiner, je geringer die dritte

Kraft und je stärker die beiden Erdanziehungskräfte an den Enden des Seiles sind.



Ist ein Seil über einen Steg in der Art aufgespannt, daß dieser zwischen dem ersten Drittheil z. B. und dem zweiten Drittheil des Seiles angebracht ist, und wird der kürzere Theil, das erste Drittheil des Seiles auf irgend eine Weise aus seiner gespannten Lage gebracht, z. B. durch Bestreichen eines Fidelbogens, so wirkt der Steg als Hebel für die Schwingungen; in der Art nämlich, als die an den Steg diesseits angrenzende Hälfte des ersten Drittheiles des Seiles geschwungen wird, wird die anstoßende Hälfte des zweiten Drittheiles jenseits des Steges nach der entgegengesetzten Richtung hin geschwungen, und mit dieser ersten Hälfte auch ein eben so großes Stück des Seiles, nämlich die zweite Hälfte des zweiten Drittheiles des Seiles, — und in dem Maße die zweite Hälfte des zweiten Drittheiles nach derselben Seite hin mit geschwungen wird, wird, — indem an der Grenze zwischen dem zweiten und dritten Drittheile des Seiles ein Hebelstützpunkt ähnlich wie auf dem Stege sich bildet, — die erste Hälfte des dritten Drittheiles und mit dieser auch die zweite Hälfte desselben Drittheiles auf die entgegengesetzte Seite hin geschwungen. Bei jeder folgenden Schwingung des ersten Drittheiles erfolgen die secundären Schwingungen in den beiden andern Drittheilen.

Dasselbe Ergebniß findet statt, wenn der Steg, anstatt zwischen dem ersten und zweiten Drittheile, zwischen dem ersten und zweiten Viertheile angebracht ist, — es gibt dann statt zweien drei Hebelpunkte, — und so entstehen immer so viele Schwingungshebepunkte an einem über einen Steg gespannten Seile, als den wievieltesten Theil der kleine mit dem Fidelbogen bestrichene Vordertheil von der ganzen Seileslänge ausmacht, weniger Einen.

Der Beweis dafür läßt sich durch ein Experiment ersehen, welches darin besteht, daß man an verschiedenen Punkten des gespannten Seiles leicht bewegliche Körper, z. B. papierene Reiterchen auflegt, welche an allen andern Punkten durch die von dem Fidelbogen hervorgebrachten Schwingungen abgeworfen werden, nur nicht wo sich die Schwingungshebepunkte befinden, wo die Reiterchen ruhig sitzen bleiben. Man nennt diese Punkte Ruhepunkte oder **Knotenpunkte.**

Nicht nur aufgespannte biegsame Schnüre, als Faden, Seide, Saiten oder Drähte, gerathen bei der Verschiebung aus ihrer geradlinigen Spannungslage in Schwingung, sondern auch mehr oder weniger alle festen Körper der verschiedensten Form. Bei Glas- oder Metallplatten lassen sich die Schwingungsruhepunkte, Hebel- oder Knotenpunkte dadurch nachweisen, daß man sie mit feinem Staub (Bärlapsamen oder Gummipulver) bestreut, und, indem man an Einem oder mehreren Punkten die Platten befestigt, mit dem Fidelbogen anstreicht. Von den Schwingungsstellen weicht der Staub und an den Ruhe- oder Knotenstellen häuft er sich an.

Je nach der Anzahl der Befestigungspunkte und je nach der Stärke des Anstreichens mit dem Fidelbogen bilden die Staubanhäufungen bestimmte regelmäßige Figuren, von Chladni entdeckt, und nach ihm genannt. Je stärker das Anstreichen mit dem Fidelbogen oder die Berührung auf andere Weise ist, desto längere Schwingungslinien werden erzeugt, desto weniger unterbrochen sind die Knotenlinien, — und je schwächer die Berührung der Platten, desto kleiner sind die einzelnen Schwingungslinien, — dort sind sie also von geringerer, hier von größerer Anzahl. Der Grund der Chladnischen Figuren ist derselbe der Schwingungsstellen und Knotenpunkte auf gespannten Saiten. Die Grenze des ersten Schwingungsbogens gibt den Hebelpunkt für den zweiten, und so fort die folgenden Schwingungsbogen ab.

IV.

Von der Wirkung der Schwere auf Flüssigkeiten.

In den tropfbarflüssigen Körpern halten sich die Zusammenziehungs- und die Ausdehnungskraft ihrer Atome das Gleichgewicht und in gleichem Verhältnisse stehen auch das Zusammenhangs- (Cohäsion) und Trennungsvermögen (Discontinuität) zu einander. Eine außerhalb einer Flüssigkeit, einer Menge eines flüssigen Stoffes, liegende anziehende Kraft, wie die Schwerkraft, hebt leicht den Zusammenhang der Flüssigkeitsatome auf, und bei dem Mangel oder Aufhören der äußeren Anziehung tritt sogleich wieder das Zusammenhangsstreben der Flüssigkeitsatome ein. Der kleinste Theil einer Flüssigkeit hat bei dem Mangel einer äußeren Anziehung das Vermögen, seinen Zusammenhang zu bewahren, er bildet einen Tropfen,

eine Kugel, bei der alle Atome sich um Ein Atom, das Centralatom, von diesem angezogen, in gleicher Anzahl angelegt haben. Zwei oder mehrere Tropfen vereinigen sich sogleich in Einen, sobald sie sich berührt haben. Allein mehrere oder viele Flüssigkeitsatome besitzen als freie Masse keinen gemeinschaftlichen Schwerpunkt, welcher beständig, constant, ist, wie bei festen Körpern, sondern der Schwerpunkt einer flüssigen Masse hängt von ihrer Lage ab, wechselt mit ihrer Lage, es hat gleichsam jedes einzelne Atom den Schwerpunkt in sich, — daher es kommt, daß alle Atome einer flüssigen Masse für sich einzeln und nicht gehindert und gehalten von der Zusammenhangs-, Cohäsionskraft, wie bei festen Körpern, von dem Erdmittelpunkte angezogen werden, — daß die einzelnen Atome von Flüssigkeiten alle dem Erdmittelpunkte näheren Räume, welche von schweren, z. B. festen Körpern frei gemacht werden, sogleich einnehmen, — und daß ferner die äußersten oder obersten Atome einer Flüssigkeit die Endpunkte von gleich großen Erdradien, also die Oberfläche eines Kugelabschnittes bilden. Das Meer — in vollkommener Ruhe gedacht —, oder auch eine stehende Wassermenge bilden daher Abschnitte der Erdkugel, — die Oberflächen von ruhenden Gewässern stellen keine geraden, wagerechten, sondern krumme Kreisbogenlinien vor.

Das Fließen von Flüssigkeiten ist eine Wirkung der Erdanziehungskraft, der Schwere, welche an tiefer gelegenen, also dem Erdmittelpunkte näher liegenden Stellen größer ist, als an höheren, dem Erdmittelpunkte entfernteren Stellen.

Von einem je höheren zu einem je tieferen Punkte eine Flüssigkeit fällt, desto schneller wird der Fall, d. i. je länger die Flüssigkeit fällt, desto schneller fällt sie, — die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers wächst je mit dem Quadrate der Fallzeit. Darin hat auch die Erscheinung ihren Grund, daß ein Wasserstrahl, je tiefer er kommt, je länger er fällt, desto dünner wird, — und da Wasser auf Wasser fällt, bald dicker, bald dünner erscheint.

Gleichgewicht der Flüssigkeiten. Wenn in zwei oder mehrere Gefäße, welche durch Röhren an ihren Boden miteinander in Verbindung stehen, irgend eine Flüssigkeit gegossen wird, so vertheilt sich diese in den Gefäßen in der Art, daß alle Gefäße — gleichviel ob sie weit oder enge sind — gleich hoch von der Flüssigkeit angefüllt werden, daß das Niveau der Flüssigkeit in dem einen Gefäße dasselbe ist, als in dem andern, nämlich, daß das Niveau

der Flüssigkeiten in dem Gefäße x ebenso wie das Niveau der Flüssigkeit in den Gefäßen y, z und n Abschnitte eines und desselben großen Kreises, oder vielmehr einer und derselben Kugel bilden. Verändert man die Stellung eines solchen Gefäßapparates aus seiner wagerechten in eine schiefgeneigte, so ist das Niveau der Flüssigkeit in dem einen Gefäße höher als in dem andern, weil sich die Stellung der Gefäße zu dem Erdmittelpunkte und zur Peripherie der Erde geändert hat; — der Spiegel der Flüssigkeit fällt bei jeder Lageveränderung des Gefäßeapparates immer mit dem Umfange eines der Flüssigkeitsmenge entsprechenden Erdkugelabschnittes zusammen.

Flüssigkeiten von verschiedenem specifischem Gewichte, in zwei durch Querröhren verbundene Gefäße oder in winkelig gebogene Röhren gebracht, erreichen in den beiden Schenkeln des Apparates eine verschiedene Höhe. Ihre Höhen verhalten sich umgekehrt wie ihre specifischen Gewichte. Die specifisch leichtere Flüssigkeit steigt höher, die specifisch schwerere Flüssigkeit minder hoch. So hält z. B. eine acht Zoll hohe Säule von concentrirter Schwefelsäure einer Wassersäule von 14,8 Zollen, — und eine acht Zoll hohe Säule von Schwefeläther einer Wassersäule von 5,7 Zollen das Gleichgewicht. Die specifisch schwerere Flüssigkeit wird nämlich mehr und um so viel mehr von dem Erdmittelpunkt angezogen, und sinkt zu Boden, als sie schwerer ist als die specifisch leichtere.

Die Atome der schwereren Flüssigkeit streben jeden Raum einzunehmen, der näher dem Erdmittelpunkte ist, und verdrängen die Atome der specifisch leichteren Flüssigkeit aus dem niederen Standpunkt, den diese mit einem höheren dem Erdmittelpunkt entfernteren zu vertauschen haben. Die specifisch leichteren Flüssigkeiten schwimmen auf den specifisch schwereren Flüssigkeiten.

Specifisch schwerer ist eine Körpermasse, wenn sie, einen gewissen Raum einnehmend, mehr wiegt, als eine andere Körpermasse von gleichem Umfang. Bilden nun verschiedene Körper von verschiedenem specifischem Gewicht Ein Ganzes von einem gewissen Umfang, so wird ein solches Ganze specifisch leichter seyn, als eine andere Körpermasse, aus gleichartigen oder ungleichartigen Theilen zusammengesetzt, wenn letztere, von gleichem Umfange wie ersteres, mehr wiegt. Ein aus verschiedenartigen Theilen zusammengesetzter Körper wird also in einer Flüssigkeit nur so weit untersinken, bis er so viel Flüssigkeit verdrängt hat, als nöthig ist, um dem Körper

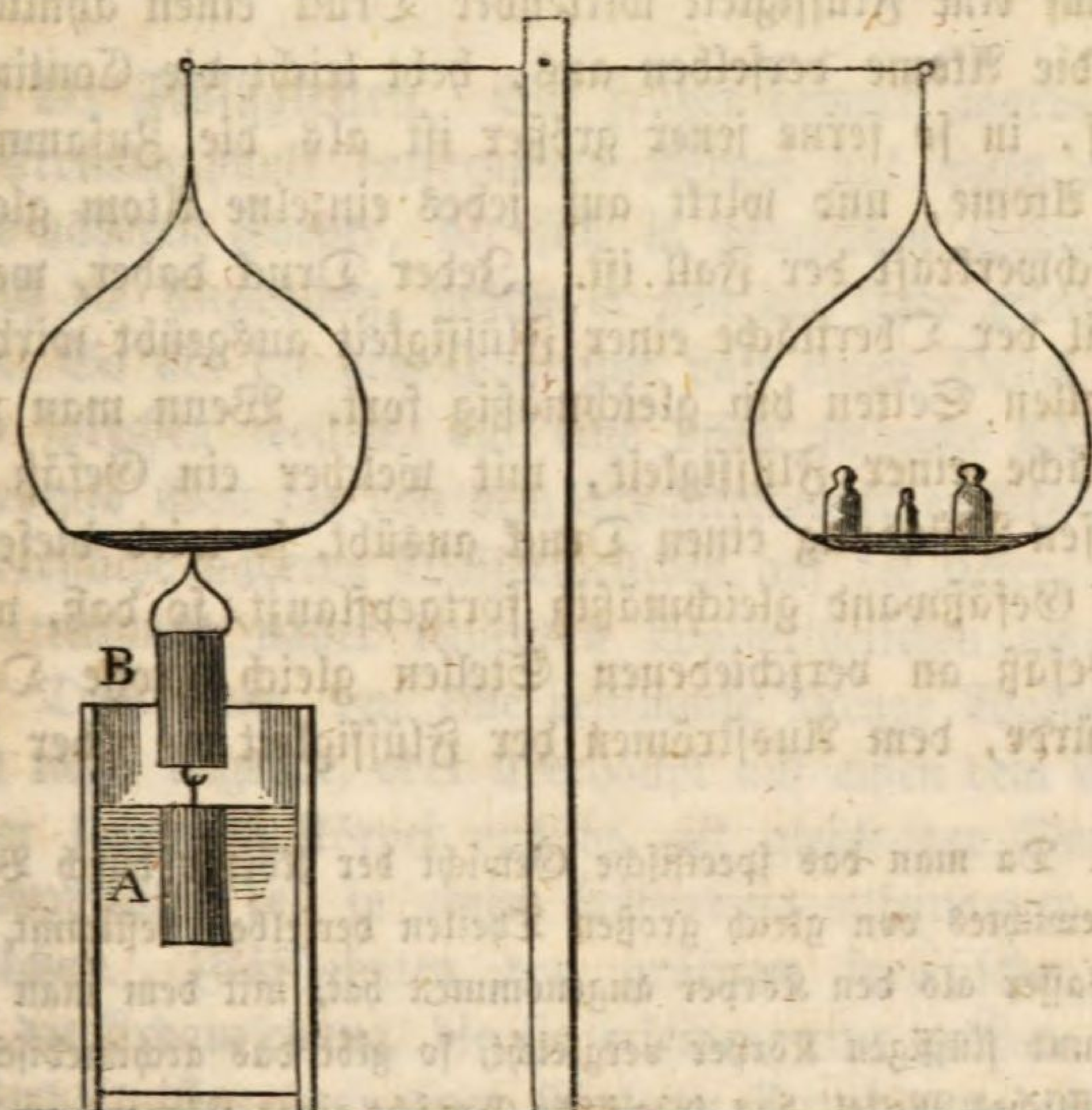
das Gleichgewicht zu halten, d. h. die Menge der verdrängten Flüssigkeit muß eben so viel wiegen als der Körper wiegt, der einen gleich großen Raum, wie die verdrängte Flüssigkeitsmenge, einnimmt; — der untergetauchte Körper von einem gewissen Volumen fängt an zu schwimmen, wenn die Menge Flüssigkeit, welche er verdrängt, ein gleiches Volumen einnimmt und eben so viel wiegt als jener Körper. Die den schwimmenden Körper umgebende Flüssigkeit hält diesem das Gleichgewicht, d. i. eine von irgend einer Richtung an den schwimmenden Körper angrenzende Flüssigkeitsmenge von dem gleichen Umfang als der schwimmende Körper wiegt eben so viel als dieser, wird ebenso von dem Erdmittelpunkt angezogen als dieser. Es ist der schwimmende, d. h. in der Flüssigkeit zum Theil untergetauchte aber nicht tiefer sinkende Körper, so weit er untergetaucht ist, gleich zu achten einer im gleichen Niveau befindlichen Menge von der Flüssigkeit, in welcher er schwimmt, welche bei der Einnahme eines gleich großen Raumes auch ein gleich großes Gewicht besitzt. Wie gleiche in Einer Erdkreislinie liegende Theile einer Flüssigkeit gleichmäßig stark von dem Erdmittelpunkt angezogen werden, ebenso stark wird auch ein in derselben Flüssigkeit schwimmender Körper, der sich in derselben Erdkreislinie befindet, von dem Erdmittelpunkt angezogen, — d. h. beide: der schwimmende Körper und alle einen ebenso großen Raum als der schwimmende Körper in der Gesammtflüssigkeit einnehmenden Mengen von Flüssigkeit halten sich einander das Gleichgewicht.

Je specifisch schwerer eine Flüssigkeit ist, desto schwerere Körper können in ihr schwimmen. Korkholz schwimmt in Wasser, Eisen in Quecksilber. Je schwerer ein Körper ist, welcher in einer Flüssigkeit schwimmt, desto tiefer taucht er in ihr unter. Ein schwerer Körper taucht in ein und derselben Flüssigkeit tiefer unter, als ein leichterer Körper. Ein leeres Schiff geht oder schwimmt höher, dasselbe mit Lasten beladen, geht tiefer im Wasser. Ein und dasselbe Schiff geht in dem einen Fluß, dessen Wasser von geringerer specifischer Schwere ist, tiefer, als in einem andern Fluß, dessen Wasser specifisch schwerer ist, als das Wasser des ersteren.

Die Flüssigkeit, auf welcher ein Körper schwimmt, ist zu achten als eine Stütze des schwimmenden Körpers, — ein schwimmender Körper wird von der unter ihm befindlichen Flüssigkeit getragen, gleichwie ein Körper, welcher auf dem festen Boden liegt, oder an einem festen Körper hängt, auch von dem Boden, oder dem Körper,

an dem er hängt, getragen wird. Der Schwerpunkt des schwimmenden Körpers und der Schwerpunkt der unter diesem befindlichen Wassermenge liegt nämlich in Ein und demselben Erdradius, in ein und derselben Erdmittelpunktanziehungslinie.

Ein Körper, welcher aufgehängt und zum Theil in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, wird theils von dem Körper, an dem er hängt, theils von der Flüssigkeit, in welche er eingetaucht ist, getragen. Ein an einer Wageschaale hängender Körper verliert daher an seinem Gewicht, d. h. wiegt weniger, wenn er zugleich in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, und zwar um so viel, als die Menge Flüssigkeit wiegt, welche an Umfang dem Volumen des eingetauchten Körpers oder Körpertheiles gleich ist. Dieß läßt sich auf folgende Art am besten beweisen: An die Schaale einer Wage hängt



man einen hohlen Cylinder B, an welchem wieder ein massiver Cylinder A hängt, der genau die Höhlung von jenem ausfüllt. Auf die andere Wageschale legt man so viel Gewichte, daß das Gleichgewicht hergestellt ist. Taucht man nun den massiven Cylinder A in Wasser, so verliert er dadurch einen Theil seines Gewichtes, wodurch das Gleichgewicht gestört wird. Dieses wird wieder hergestellt, wenn man den hohlen Cylinder mit Wasser anfüllt, was offenbar beweiset, daß A durch das Eintauchen in Wasser eben so

viel an Gewicht verloren hat, als die Wassermenge wiegt, welche denselben Raum einnimmt, als der massive Cylinder, mit andern Worten, als die Wassermenge wiegt, die er beim Eintauchen verdrängt hat.

Das Gesetz: „Ein Körper, welcher in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, verliert von seinem Gewicht gerade so viel, als die aus der Stelle vertriebene Flüssigkeit wiegt“ ist von Archimedes entdeckt worden, und heißt deßhalb das archimedische Prinzip.

Wirkung des Druckes auf Flüssigkeiten. Sowie die Anziehungskraft der Erde, die Schwerkraft, wirkend auf die Atome einer Flüssigkeit den Zusammenhang derselben leicht aufhebt, weil sie größer ist als die Zusammenhangskraft der Flüssigkeiten, — so übt auch ein auf eine Flüssigkeit wirkender Druck einen ähnlichen Einfluß auf die Atome derselben aus, hebt leicht die Continuität der Atome auf, in so ferne jener größer ist als die Zusammenhangskraft der Atome, und wirkt auf jedes einzelne Atom gleichwie es bei der Schwerkraft der Fall ist. Jeder Druck daher, welcher auf einen Theil der Oberfläche einer Flüssigkeit ausgeübt wird, pflanzt sich nach allen Seiten hin gleichmäßig fort. Wenn man z. B. auf die Oberfläche einer Flüssigkeit, mit welcher ein Gefäß angefüllt ist, an dessen Mündung einen Druck ausübt, so wird dieser an alle Theile der Gefäßwand gleichmäßig fortgepflanzt, so daß, wenn man in das Gefäß an verschiedenen Stellen gleich große Oeffnungen anlegen würde, dem Ausströmen der Flüssigkeit an jeder Oeffnung

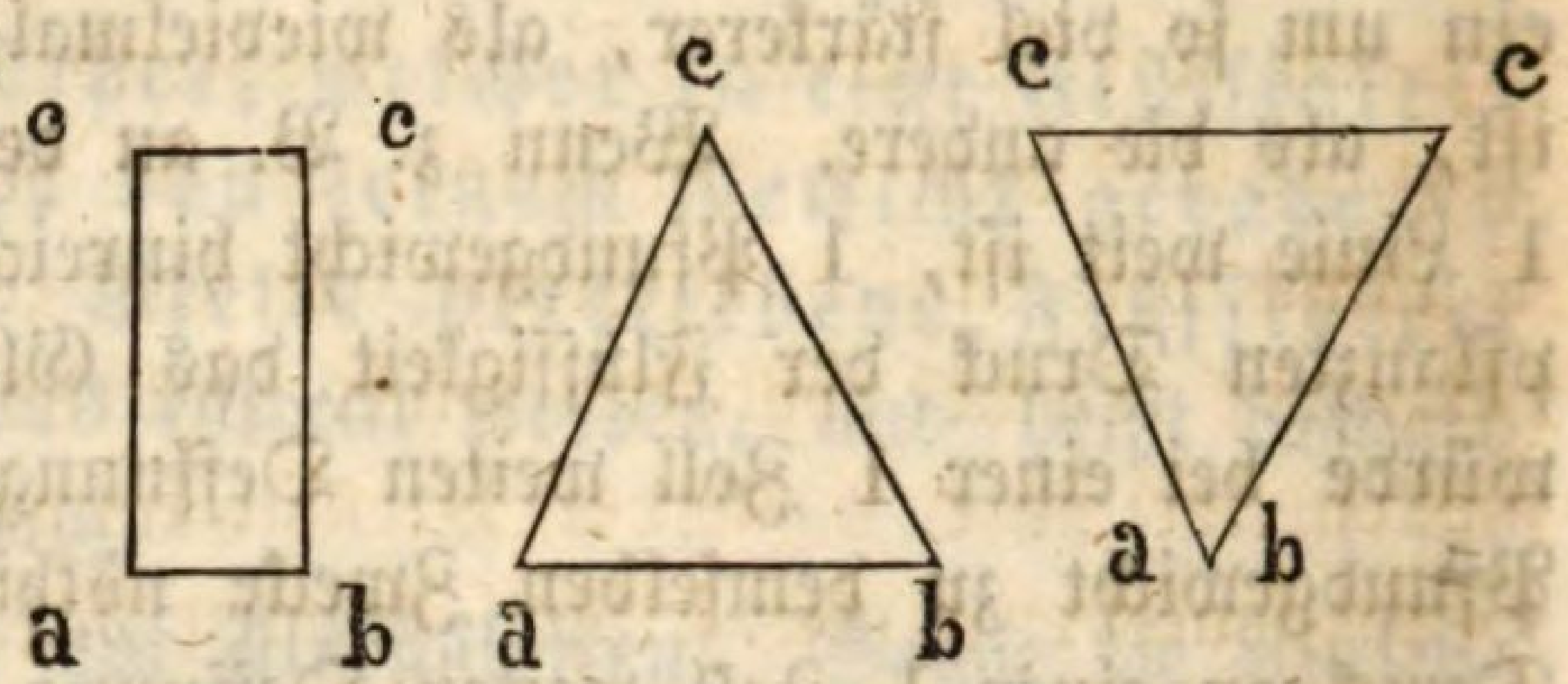
Anmerkung. Da man das specifische Gewicht der Körper durch Vergleichung des Gewichtes von gleich großen Theilen derselben bestimmt, und zwar das Wasser als den Körper angenommen hat, mit dem man die andern festen und flüssigen Körper vergleicht, so gibt das archimedische Princip ein treffliches Mittel, das specifische Gewicht eines Körpers zu bestimmen. Man hängt an eine Schaale einer Wage den Körper an, dessen specifisches Gewicht man bestimmen will. Durch Auflegen von Gewichten auf die andere Wagschaale wird das absolute Gewicht des Körpers bestimmt. Taucht man diesen nun in Wasser ein, so muß man, weil der eingetauchte Körper so viel an Gewicht verliert, als die Wassermenge, die er verdrängt, wiegt, so viel von den aufgelegten Gewichten von der Wagschaale abnehmen, als die verdrängte Wassermenge wiegt. Der Körper ist also um so viel schwerer als Wasser, als das noch nicht abgenommene Gewicht beträgt.

einen gleich starken Gegendruck entgegensetzen müßte. Sind aber die Oeffnungen von ungleicher Weite, so würde an den größeren Oeffnungen ein stärkerer Gegendruck anzuwenden seyn, und zwar ein um so viel stärkerer, als wievielmal die eine Oeffnung weiter ist, als die andere. Wenn z. B. an der einen Oeffnung, welche 1 Linie weit ist, 1 Pfundgewicht hinreichend ist, um dem fortgepflanzten Druck der Flüssigkeit das Gleichgewicht zu halten, so würde bei einer 1 Zoll weiten Oeffnung desselben Gefäßes ein 10 Pfundgewicht zu demselben Zwecke nöthig seyn. Es wird ja der Druck an einer 1 Zoll weiten Oeffnung durch 10 mal mehr Flüssigkeitsatome fortgepflanzt als an einer nur 1 Linie weiten Oeffnung; die Summe der fortgepflanzten Druckkräfte ist also an der 1 Zoll weiten Oeffnung 10 mal größer, als an der 1 Linie weiten Oeffnung.

Druck der Flüssigkeiten. Wie früher bemerkt wurde, übt ein von dem Erdmittelpunkt entfernterer Körper auf einen dem Erdmittelpunkt näheren Körper, der sich in demselben Erdradius befindet, durch die Anziehung, welche er von der Erde erleidet, einen Druck aus. So übt die atmosphärische Luft einen Druck, von dem wir später sprechen wollen, auf eine offen stehende Wassermenge aus, und ebenso üben die von dem Erdmittelpunkt entfernteren, also die der Oberfläche näheren Wassertheilchen auf die tiefer, und also dem Erdmittelpunkt näher liegenden Wassertheilchen einen Druck aus. Der Druck nun, den eine bestimmte Menge Wassertheilchen auf andere tiefer liegende, oder überhaupt auf einen dem Erdmittelpunkt näher liegenden Körper ausübt, ist gleich der Summe der Erdanziehungskräfte der in einem Erdradius aufeinander liegenden Wassertheilchen. Flüssigkeiten von größerer specifischer Schwere üben, weil die Erdanziehung, die sie erleiden, eine größere ist, unter gleichen Verhältnissen auch einen stärkeren Druck aus, als Flüssigkeiten von geringerer specifischer Schwere, und zwar einen um so viel mal stärkeren Druck, als wie viel mal sie schwerer sind, als diese.

Da der Druck, den Flüssigkeiten erleiden, durch diese gleichmäßig nach allen Seiten hin fortgepflanzt wird, so kömmt es bei der Bestimmung der Stärke eines Druckes durch die Schwere einer Flüssigkeit auf eine tiefer liegende Flüssigkeitsschichte oder einen unter derselben sich befindlichen Körper nur auf die Höhe einer vertikalen Flüssigkeitssäule an, — diese mag nun eine gleichmäßig

weite Säule, oder eine mit der Basis oder eine mit der Spitze auf der gedrückten Schicht oder dem gedrückten Körper liegende Pyramide vorstellen. Der Druck, welchen die oberflächlich liegenden Flüssigkeitstheilchen c — c auf die tiefer liegenden ausüben, pflanzt sich bis zu den tiefsten Flüssigkeitstheilchen a — b fort, — es ist also gleich, ob viele oder wenige oberflächlich

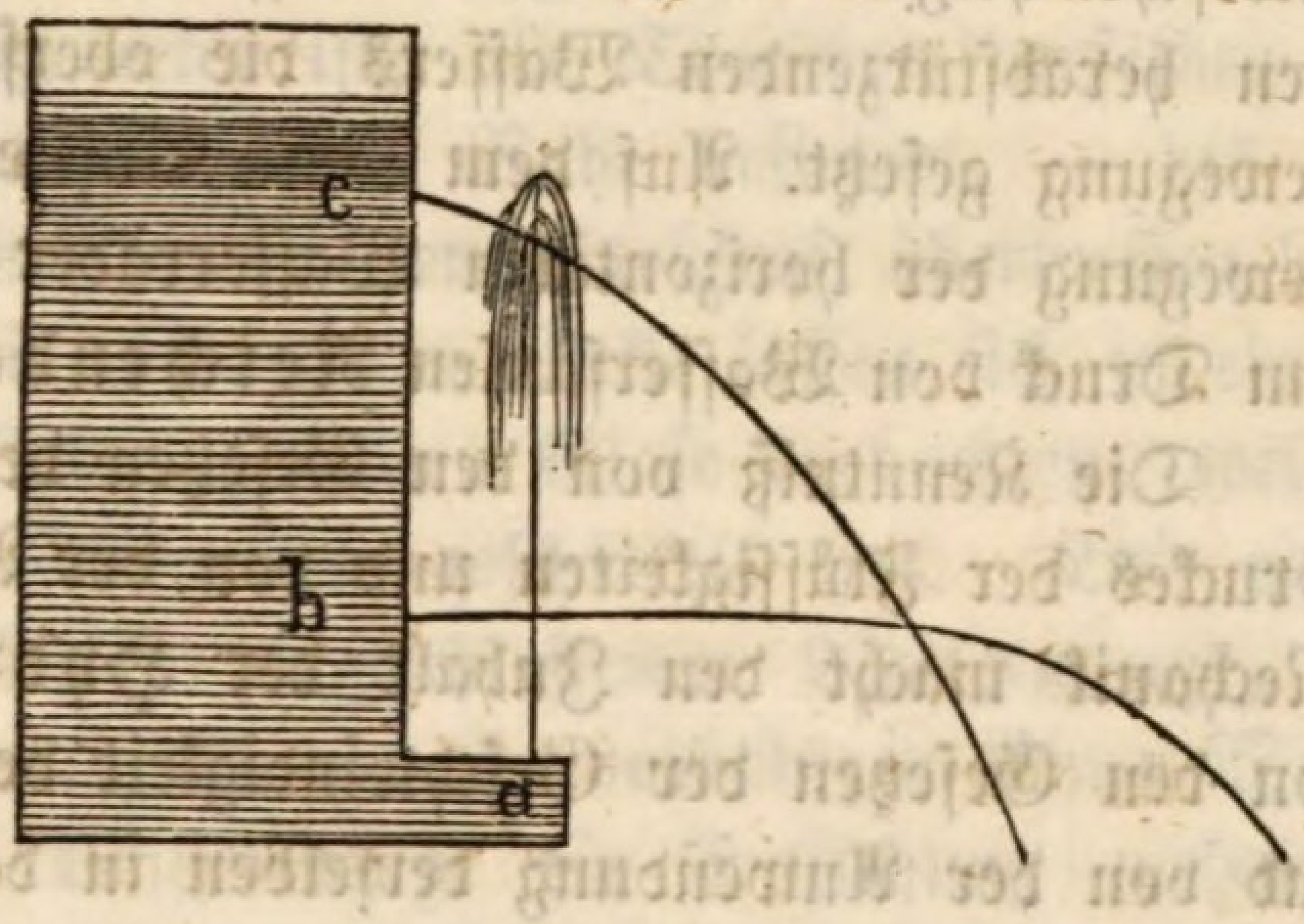


liegende Flüssigkeitstheilchen den Schwerdruck beginnen, die Größe des Druckes berechnet sich immer nach der horizontalen Breite der Basis und der Höhe der Flüssigkeitssäule, d. i. der Druck, welchen ein unter einer Flüssigkeitssäule befindlicher Körper, z. B. der Boden eines mit derselben gefüllten Gefäßes auszuhalten hat, ist gleich dem Gewichte einer vertikalen Flüssigkeitssäule, deren Basis gleich ist der Breite des Bodens und deren Höhe gleich ist der Tiefe des Bodens unter dem Flüssigkeitsspiegel. Deßgleichen berechnet sich der Druck, den irgend ein Punkt der Seitenwände eines mit Flüssigkeit angefüllten Gefäßes durch diese auszuhalten hat, nach der Höhe der auf ihm ruhenden vertikalen Flüssigkeitssäule, so daß der Druck, den ein Stück der Seitenwand auszuhalten hat, gleich ist dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche so hoch ist, als der Schwerpunkt dieses Wandstückes unter dem Niveau liegt, und deren Basis gleich ist der Größe des Wandstückes selbst.

Ausflußgeschwindigkeit. Gleichwie ein Körper, je länger er fällt, mit desto größerer Geschwindigkeit fällt, so bewirkt der Druck einer höheren Flüssigkeitssäule eine größere Geschwindigkeit des Ausfließens einer Flüssigkeit aus der Oeffnung eines Gefäßes. In dem Grade die Höhe der Flüssigkeitssäule abnimmt, in eben dem Grade nimmt auch die Ausflußgeschwindigkeit ab. „Die Ausflußgeschwindigkeit ist gerade so groß wie die Geschwindigkeit, welche ein freifallender Körper erlangen würde, wenn er von dem Spiegel der Flüssigkeit bis zur Ausflußöffnung herabfiele.“ (Dieser Satz ist unter dem Namen des Toricelli'schen Theorems bekannt.) Daher verhalten sich die Ausflußgeschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln der Druckhöhen, und da alle Körper gleich geschwind fallen, so hat auch die Natur der Flüssigkeit, vielmehr das Gewicht derselben auf die Geschwindigkeit des Ausfließens keinen Einfluß. Aus

einer Oeffnung z. B., welche 100 Zoll unter dem Flüssigkeitsspiegel liegt, muß die Flüssigkeit mit 10 mal größerer Geschwindigkeit ausfließen, als aus einer andern, welche nur 1 Zoll unter dem Niveau sich befindet. Denn während des Ausfließens bei einer 100 Zoll hohen Flüssigkeitssäule ist der Schwerdruck gleich der Summe der Anziehungskräfte, welche ein freifallender Körper von der Erde erleidet während seines Fallens von einer Höhe von 100 Zollen, welche er nach der 10 mal längeren Zeit durchfallen haben würde, als er einen 1 Zoll langen Raum in dem ersten Zehntel der 10 mal längeren Zeit durchfallen hat.

Stärke des Ausflußstrahles. Die Stärke des Ausflußstrahles ist entsprechend der Geschwindigkeit, mit welcher er aus einer Oeffnung eines mit Flüssigkeit angefüllten Gefäßes ausfließt, und demnach auch entsprechend der Stärke des Druckes, welchen die oberhalb der ausfließenden Flüssigkeitstheilen liegende Flüssigkeitsmenge auf jene ausübt, und demnach auch entsprechend der Höhe der drückenden Flüssigkeitssäule.



Ein Strahl a einer Flüssigkeit, der aus einer vertikal nach aufwärts angebrachten Oeffnung einer mit dem Boden eines Gefäßes wagerecht verbundenen Röhre ausströmt, erreicht die Höhe (oder wegen des die Ausflußgeschwindigkeit verzögernden Reibungswiderstandes und des Widerstandes der an der Strahlesspitze zurückfallenden Flüssigkeitstheilchen beinahe die Höhe) der drückenden Flüssigkeitssäule. Ein vertikal in die Höhe geworfener Körper erreicht nämlich eine bestimmte Höhe, wenn er mit derselben Geschwindigkeit in die Höhe gestoßen wird, die er erlangt, wenn er von derselben Höhe herabfallend unten angelangt wäre. Mit der Geschwindigkeit oder Kraft also die Flüssigkeit ausströmt, mit derselben steigt der Strahl vertikal in die Höhe; er erreicht also die Höhe, von der er herabgefallen ist, er erreicht die Höhe der drückenden Flüssigkeitssäule.

Ist die Ausflußöffnung in dem Gefäß in horizontaler Richtung angebracht, so strömt der Strahl b um so stärker aus, und verharrt

um so länger in der horizontalen Richtung, je tiefer die Oeffnung angebracht ist, — und umgekehrt weicht der Strahl desto schneller aus der horizontalen Richtung, folgt mehr der vertikal wirkenden Schwerkraft seiner Flüssigkeitstheilchen, je höher die Oeffnung c im Gefäß angebracht ist, je weniger hoch also die Drucksäule ist.

Durch das Ausfließen einer Flüssigkeit aus einer Oeffnung in der Wand eines Gefäßes wird die Wand an der Stelle der Oeffnung von dem Drucke, den die Flüssigkeit durch ihr Gewicht auf die Wand ausübt, befreit, während der Druck auf die übrige Wand derselbe bleibt. Der Druck auf die Wand mit der Ausflußöffnung ist daher weniger geworden, als der Druck an der entgegengesetzten undurchbohrten Wand. Die Folge davon ist, daß durch den Mehrdruck auf die entgegengesetzte Wand das Gefäß, wenn es auf seiner Unterlage beweglich ist, nach der Richtung dieser Wand hin von der Stelle bewegt wird. Auf diesem Prinzip beruht die Einrichtung des Segner'schen Wasserrades und jenes von Althaus. Durch die Triebkraft fließenden Wassers werden die sogenannten unterschlächtigen vertikalen Wasserräder, — durch den Stoß von oben herabstürzenden Wassers die oberschlächtigen Wasserräder in Bewegung gesetzt. Auf dem Trieb einfließenden Wassers beruhet die Bewegung der horizontalen Wasserräder oder der Turbinen, — auf dem Druck von Wassersäulen Reichenbach's Wassersäulenmaschine.

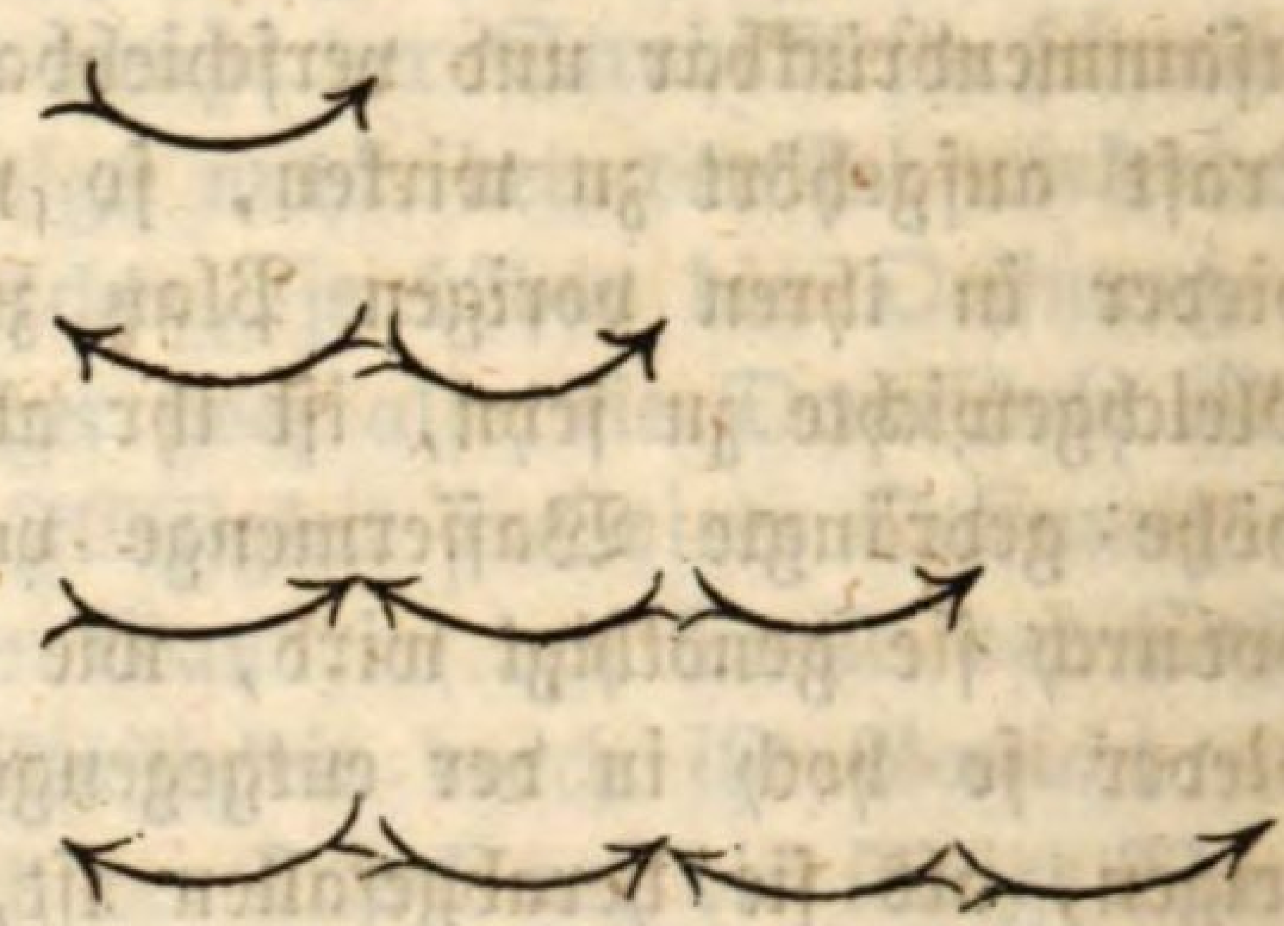
Die Kenntniß von den Gesetzen des Gleichgewichtes und des Druckes der Flüssigkeiten und von der Anwendung derselben in der Mechanik macht den Inhalt der Hydrostatik, — die Kenntniß von den Gesetzen der Geschwindigkeit des Fließens der Flüssigkeiten und von der Anwendung derselben in der Mechanik macht den Inhalt der Hydrodynamik aus. Beide zusammen begreift die Hydraulik.

Wasserschwingung. Wird ein stillestehendes Wasser (oder irgend eine Flüssigkeit) in einem großen Gefäß oder in einem Teich oder See durch irgend eine bewegende Kraft in einer andern als der vertikalen, der Schwer-Richtung momentan in Bewegung gesetzt, so wird hiedurch ein Theil des Wassers, welcher von der bewegenden Kraft von seinem Platz verdrängt wird, aber keinen Platz im gleichen Niveau seines vorigen ebenen Spiegels hat, — in der von der bewegenden Kraft abgehenden Richtung in die Höhe getrieben, weil die nachbarliche Wassermenge wegen der zu geringen Zusammendrückbarkeit (Elasticität) des Wassers Widerstand leistet, die

ober der Wasserfläche befindliche atmosphärische Luft aber leichter zusammendrückbar und verschiebbar ist. Hat nun aber die bewegende Kraft aufgehört zu wirken, so wird die verdrängte Wassermenge wieder in ihren vorigen Platz zurückkehren. Sogleich ruhig, im Gleichgewichte zu seyn, ist ihr aber nicht möglich, weil die in die Höhe gedrängte Wassermenge von ihrer Höhe herabfallen muß, wodurch sie genöthigt wird, wie der Schwerkörper eines Pendels, wieder so hoch in der entgegengesetzten Richtung in die Höhe zu steigen, als sie herabgefallen ist, — mit Abzug des Minus, das durch den Widerstand verursacht wird, welchen die Umgebung der bewegten Wassermenge, als die Gefäßwand, das Ufer, die nachbarliche Wassermenge neben und die Luft über ihr leistet. Aehnlich wie bei dem Pendel fällt die rückwärts in die Höhe getriebene Wassermenge wieder herab, und steigt wieder in der andern Richtung so hoch in die Höhe, als sie herabgefallen, und so fort, bis die Widerstandskraft der Gefäßwand, des Ufers, der nachbarlichen Wassermenge und der Luft der Fall- und Hebekraft der bewegten Wassermenge gleich gekommen, das Gleichgewicht der Theilchen der bewegten Wassermenge eingetreten ist, alle Theilchen derselben in ihren entsprechenden Erdradien sich in Ruhe befinden, — bis die Schwerkraft der Wassermenge die erlittene Stoßkraft übertroffen hat.

Die Schwingungen einer einzelnen Welle lassen sich in einem zur Hälfte mit einer Flüssigkeit gefüllten Glase beobachten, welche man einmal nach einer Seite hin geschüttelt hat. Bei einer größeren als in einem Gefäß eingeschlossenen Wassermenge, in einem Teiche oder See verursacht das Hervorbringen Einer Welle an der diese umgebenden Wassermenge die Entstehung mehrerer nachfolgenden Wellen. Durch die Wirkung der bewegenden Kraft muß nämlich die dieser zunächst ausgesetzte Wassermenge ihren vorigen Platz verlassen. Da das Wasser eine sehr geringe Zusammenziehbarkeit besitzt, so steigt die von der bewegenden Kraft getroffene Wassermenge, die Luft verdrängend, in die Höhe — die theilweise Wirkung der Bewegungskraft —, und pflanzt die empfangene Bewegung andern Theiles fort zur nächstgelegenen Wassermenge. Diese zweite in Bewegung gesetzte Wassermenge geräth wie die erste in Schwingung. Derselbe Bewegungsvorgang erfolgt durch die Schwingung der zweiten Wassermenge an der dritten, und so fort vierten, fünften und folgenden Wassermenge. Eine Welle erzeugt mehrere, oft 40 bis 50.

Entsteht die zweite Welle, so schwingt die erste Welle zum zweitenmale. Entsteht die dritte Welle, so schwingt die zweite zum zweitenmale, und die erste zum drittenmale, — entsteht die vierte Welle, so schwingt die dritte zum zweitenmale, die zweite zum drittenmale, und die erste zum viertenmale, u. s. f.



Die in die Höhe getriebene Wassermenge nennt man den Berg, — die in die Tiefe fallende Wassermenge das Thal der Wellen. Ein Wellenberg entsteht durch den Zusammenstoß zweier gegeneinander gerichteter Wasserschwingungen, — ein Wellenthal durch das in entgegengesetzter Richtung Auseinandergehen zweier Wasserschwingungen. Denn während die zweite Welle die erste Schwingung von der ersten Welle ab in der Richtung des erlittenen Stoßes folgend macht, macht die erste Welle die rückgängige Schwingung (Rückschlag), — die Wassermengen beider Wellen gehen also von einander, — der Wellenberg wird also zum Wellenthal. Während aber die dritte Welle entsteht, die zweite Welle die zweite Schwingung, nämlich eine rückgängige macht, macht die erste Welle ihre dritte Schwingung, nämlich ihre zweite vorwärts gehende Schwingung. In diesem Zeitpunkte stoßen die Wassermengen der ersten und zweiten Welle zusammen, und es entsteht nun an derselben Stelle, an der vorerst ein Wellenthal gewesen, ein Wellenberg, — und während die vierte Welle entsteht, die dritte ihre zweite, nämlich die erste rückgängige Schwingung, die zweite ihre dritte, nämlich zweite vorwärts gehende, und die erste ihre vierte, nämlich zweite rückgängige Schwingung macht, befindet sich zwischen den Wassermengen der vierten und dritten Welle ein Wellenthal, zwischen der dritten und zweiten ein Wellenberg, und zwischen der zweiten und ersten ein Wellenthal u. s. f. — Die vorwärts gehenden Schwingungen treffen immer auf ungerade Zahlnummern der Schwingungen der Wellenwassermengen, — die rückgängigen auf die ungeraden Zahlen. Die Wellenberge sind vorhanden, wenn die vorhergehende Welle eine Schwingung mit ungerader Nummer, die nachfolgende Welle ihre Schwingung mit gerader Nummer macht, — und ein Wellenthal entsteht, wenn die vorhergehende Welle ihre Schwing-

ung mit gerader Nummer und die nachfolgende mit ungerader Nummer macht.

Dieselbe Stelle also, an welcher in dem Einen Moment ein Wellenberg gewesen, wird in dem zweiten Moment ein Wellenthal, — im dritten Moment wieder Berg, im vierten Moment wieder Thal. Daher kommt es, daß ein auf dem Wasser schwimmender Körper (ein Stück Holz) während der Wellenbewegung in der That nicht von der Stelle kömmt, sondern bald in der Höhe auf einem Wellenberg, bald in der Tiefe in einem Wellenthal erscheinet.

Eine und jede Welle ist eine in Schwingung befindliche Wassermenge.

Ein Wellenberg besteht aus dem im Aufschlag befindlichen Theile der Einen, und in dem Rückschlag der andern Welle. Das Wellenthal ist die Grenze zweier Wellen, ihr Trennungspunkt, — der Wellenberg ihr Vereinigungspunkt. Im Wellenberg stoßen die Wassermengen zweier Wellen gegen einander, — im Wellenthal weichen die Wassermengen von einander. Im Wellenberg sind die Wassertheilchen im Zustande der Zusammendrückung, weil sie in größerer Masse angehäuft werden, — im Wellenthal sind sie in geringerer Anzahl, — daher nimmt im Wellenberg das Wasser einen größeren Raum in Anspruch, hebt sich über den Wasserspiegel hinaus; — im Wellenthal einen geringeren Raum.

Je größer die Kraft ist, welche eine Welle erzeugt, d. i. je mehr Wasser eine Bewegungskraft aus ihrer Stelle verdrängt, desto größer sind die Wellen, desto länger die Wellenbahn.

Je tiefer das Wasser, und je tiefer die Bewegungskraft, d. i. die raumbeschränkende Ursache wirkt, desto höher sind die Wellenberge. Ein in das Wasser fallender Stein erregt durch seine raumeinnehmende und also wasserverdrängende Wirkung sowie an der Oberfläche, so auch in der Tiefe bis auf den festen Grund, auf den er fällt, und auf dem er bleiben muß, eine Wellenbewegung. — Ein in die Mitte einer Wassermenge fallender Stein (oder irgend ein anderer schwerer Körper) verursacht ringsum der Stelle, von welcher er das Wasser durch sein Eindringen verdrängt, eine Wellenbewegung, eine kreisförmige Welle. Diese kreisförmige Welle verursacht eine zweite kreisförmige, diese zweite eine dritte, und so fort und fort kreisförmige Wellen, bis die Wellenbewegungskraft

endlich gleich kömmt der Kraft des Widerstandes, den die Luft oder die Umgebung leistet. Sowie ein in das Wasser fallender schwerer Körper (ein Regentropfen, ein Stein) in senkrechter Richtung das Wasser aus seiner Lage verdrängt, und ein Stoß auf eine in ein Gefäß eingefangene Wassermenge in horizontaler Richtung das Wasser aus seiner Lage verdrängt, so verdrängt auch ein Windstoß ein stehendes Wasser in einer zwischen der senkrechten und horizontalen stehenden, schiefen Richtung. Ein Windstoß verursacht auf ein stehendes Wasser in der Windrichtung einen Wellenzug. Ein Westwind z. B. verursacht von West nach Ost fortschreitende Wellen. Ein Wind, welcher auf schon vorhandene Wellen stoßt, trifft die dem Winde entgegengesetzte Seite der Wellenberge, und erschwert das Zurückfallen des Wassers der Wellen, den Rückschlag, und vermehrt das Vorwärtsgehen, den Aufschlag, das Steigen der vorwärtsschreitenden Wellen, — erhöhet also negative und positive die Wellenberge. Je mehr und je längere Zeit die Windstöße auf einander folgen, desto höher werden daher die Wellen.

Treffen mehrere Windstöße in sich entgegengesetzter Richtung auf die Wellen, also auf beide Seiten (Abhänge) der Wellenberge, so verhindern sie das Fortschreiten der Wellen nach Einer Richtung, bewirken sogenannte stehende Wellen, — das Wasser der Wellenberge, weil es gehindert ist, seine Schwingungsbahn wie vorher zu durchfallen, drückt durch sein Schwergewicht auf die senkrecht unter dem Wellenberge sich befindlichen Wasserschichten, und erfährt von diesen wieder einen Gegendruck, wenn dieses die Grenze seiner Zusammendrückbarkeit erreicht hat, wodurch ein Erheben der obern, vorher senkrecht gesunkenen Wasserschicht der Wellenberge bewirkt wird. Die vorher horizontale Schwingungsebene hat sich in eine beinahe senkrechte verwandelt, die Vertikallinie der Wellenberge und der Wellenthale sind sich einander sehr nahe gerückt, — daher die Wellen scheinbar stehende geworden sind.

Eine in der Mitte eines stehenden Wassers entstandene Welle, z. B. durch ein Segelschiff, welches die Wassermenge durchschneidet, in zwei Theile scheidet, werden Wellen erzeugt, welche von der Flanke des Schiffes hinweg nach auswärts gegen die sich entgegengesetzten Ufer fortschreiten. Die erste hiedurch entstehende Welle verursacht nun durch den Vorschlag ihrer Schwingung die nach auswärts, von dem Schiffszug ab, fortschreitenden consecutiven Wellen, — und durch den Rückschlag ihrer Schwingung nach

einwärts, der Schiffzugslinie zu, fortschreitende consecutive Wellen.

Zwei von entgegengesetzten Richtungen herkommende Wellen, wenn sie auf einander stoßen, durchkreuzen sich, d. h. die Wellen oder die Wasserschwingungen, welche von jenseits herkommen, nehmen die Richtung der von diesseits abgehenden Wellen an, — die von jenseits herkommenden Wellen schreiten in der Bahn der von diesseits abgehenden Wellen vorwärts, als wenn gar keine Wellen vorher dagewesen wären, und so umgekehrt: die von diesseits abgehenden Wellen treten in die Bahn der von jenseits herkommenden Wellen. Hiebei wechseln die Wellen insoferne ihren Character, als die Schwingungen der Wellen, welche von einer geringern Stoßkraft verursacht wurden, also kürzer und schneller sind, durch die auf sie fortgepflanzte stärkere Stoßkraft der von der entgegengesetzten Richtung herkommenden Wellen länger und langsamer schwingend werden; — die ursprünglich größeren Wellen aber durch die auf sie fortgepflanzte geringere Stoßkraft von diesseits abgehenden Wellen gleichsam in kleinere zerstückelt werden.

Wellen, welche von zweierlei Richtung kommend sich in einem r e c h t e n Winkel treffen, heben sich gegenseitig auf (Polarisation der Wellen), wenn sie von gleich starker Stoßkraft erzeugt wurden. Sind sie von ungleicher Stoßkraft, so verschwinden die von der schwächeren Stoßkraft erzeugten Wellen, während sich die stärkeren Wellen in ihrer Richtung mit um so viel schwächerer Stoßkraft fortsetzen, um wie viel ihre vorherige Stoßkraft größer war, als die der schwächeren, kleineren Wellen.

Wellen, welche in einem spitzen Winkel zusammentreffen, convergiren, durchkreuzen sich zwar, verlieren aber an ihrer Schwungkraft um so viel, um wie viel mehr ihr Convergirungswinkel sich einem rechten Winkel nähert.

Kleinere Wellen schreiten schneller vorwärts als große Wellen, ebenso wie kürzere Pendel schneller und in ein und denselben Zeitabschnitten öfter schwingen, als längere Pendel.

Je größer die Masse einer Welle ist, desto langsamer schwingt sie, und desto länger ist der Schwingungsbogen. Und je länger der Schwingungsbogen einer Welle ist, desto größer ist zugleich die schwingende Wassermenge und desto tiefer geht eine solche Welle, gleichwie ein langes Pendel einen längeren Schwingungsbogen hat, als ein kurzes Pendel. Der Länge des Pendels entspricht die Tiefe

einer Welle, — und in ihrer Richtung ist die Welle eine auf den Kopf, den Befestigungs- oder Drehpunkt der Pendelschnur, gestelltes Pendel, sowie ein Pendel eine umgestürzte Welle ist. Bei der Welle ist der Schwingungspunkt und der Drehpunkt an ein und demselben Punkt vereinigt.

V.

Von der Wirkung der Schwere luftförmiger Körper.

Die luftförmigen Körper, Gase genannt, haben unter allen Körpern der Erde das größte Ausdehnungs- und das geringste Zusammenziehungsstreben. Sowie sie am leichtesten von Körpern mit größerem Zusammenziehungsstreben, den tropfbarflüssigen und den festen Körpern angezogen werden, so werden sie am wenigsten von dem Erdmittelpunkt angezogen, unterliegen der Schwerkraft am wenigsten, sind am leichtesten. Durch schwerere, nämlich tropfbarflüssige und feste Körper werden ihre Atome vermöge ihrer geringen Cohäsion leicht von einander getrennt, und jene fallen durch sie, und zwar die festen Körper leichter und schneller durch sie, als durch tropfbarflüssige.

Die specifisch schwereren Luftarten, auf specifisch leichtere geschichtet, sinken durch diese zu Boden, und diese heben sich über jene empor, — d. i. jene nähern sich dem Erdmittelpunkt, und diese entfernen sich diesem mehr. Werden z. B. zwei Gefäße, das eine mit einem specifisch leichteren, das andere mit einem specifisch schwereren Gas gefüllt, — werden sie so auf einander gesetzt, daß das Gefäß mit dem schwereren Gas mit seiner Mündung auf die Mündung des Gefäßes mit dem leichteren Gas zu liegen kömmt, so wird man nach Hinwegziehung der die Mündung schließenden Deckel das in dem oberen Gefäß befindliche specifisch schwerere Gas nun in dem unteren, das in dem unteren befindliche specifisch leichtere Gas nun in dem oberen Gefäß finden, — das schwerere Gas ist durch das leichtere herabgefallen, das leichtere Gas hat sich über das schwerere erhoben.

Das Herabfallen schwerer Luftschichten durch leichtere, aus den höheren Aequatorialgegenden in die niederen Polargegenden ist die Ursache der am meisten herrschenden Winde.

Sowie ein fester Körper, poröser oder hohler, auf und in einer

Flüssigkeit schwimmt, wenn er nicht mehr oder weniger wiegt als das Gewicht der Flüssigkeitsmenge, die er durch seine Gegenwart verdrängt, beträgt, — ebenso schwebt auch ein Körper, der nicht mehr wiegt, als die Menge Luft, die er verdrängt, in dieser. Gleichwie bei Flüssigkeiten, so auch in den Gasen verlieren andere Körper, z. B. Regentropfen oder Hagelkörner in der Luft so viel von ihrem Gewicht, als die Luftmenge wiegt, die sie durch ihr Volumen verdrängen.

Gleich den tropfbarflüssigen Körpern, und noch mehr als diese halten sich, schnell den leeren Raum ausfüllend, die Gase allenthalben das Gleichgewicht. Obwol nach jeder Richtung sich ausdehnend, ist es zunächst ihr Angezogenwerden von dem Erdmittelpunkt, ihre Schwerkraft, der die Gase folgen, und ihr Streben nach oben ist nur die Folge des Verdrängtwerdens der leichteren Gase durch die zu Boden sinkenden schwereren Gase. So steigt ein mit specifisch leichterem Gas angefüllter Ballon in die Höhe durch die unteren specifisch schwereren Luftschichten empor. Flüssigkeiten als specifisch schwerere Körper verdrängen die Gase aus ihrer tieferen Lage, und diese schweben über ihnen.

Eine Flüssigkeit, welche zweierlei vertikale Luftsäulen in einem Röhrengefäße von einander scheidet, zeigt durch ihre Ruhe das Gleichgewicht beider Gase zu einander, — durch ihre Bewegung das Ungleichgewicht derselben an. Das schwerere Gas drückt die Flüssigkeit weg gegen das leichtere Gas hin, das leichtere wird von der Flüssigkeit in Folge des Druckes des schwereren Gases verdrängt. Dieses ist der Fall z. B., wenn die in dem Einen Schenkel einer Knieröhre enthaltene atmosphärische Luft durch Auspumpen mittels der Luftpumpe verdünnt wird, während die atmosphärische Luft im andern Schenkel unverdünnt bleibt.



Anmerkung. Die Luftpumpen sind Werkzeuge, um aus einem geschlossenen Gefäße die darin enthaltene Luft, so viel es möglich ist, herauszuziehen. Die Grundlage aller Luftpumpen beruht auf einem hohlen gleich weiten Cylinder a, in dem ein Kolben, der ganz dicht an die Wände des Cylinders anliegt, auf und nieder gezogen werden kann. Die Höhlung des Cylinders steht 1) mit einer seitlich abgehenden Röhre c in Verbindung, welche mittels eines Hahnes d geöffnet und geschlossen werden kann, und 2) mit einem Gefäß e, an dessen Hals ebenfalls ein Hahn f sich be-

Luftdruck. Gleichwie ein fester Körper auf seine Unterlage, oder die obere Schicht einer Flüssigkeit auf eine untere einen Druck ausübt, so übt auch eine obere Schicht Luft, eine von dem Erdmittelpunkt entferntere Luftmenge, auf eine untere Schicht oder auf einen tropfbarflüssigen oder festen Körper, auf eine in demselben Erdradius sich befindliche, aber dem Erdmittelpunkt näher gelegene Menge von Luft, Flüssigkeit oder feste Körper einen Druck aus. Die Stärke des Druckes ist gleich der Summe der Erdanziehungskräfte, dem Gewichte der in ein und demselben Erdradius mit dem Körper, auf den sie drücken, sich oberhalb diesem befindlichen Luftatome, — oder gleich dem Gewichte der auf dem gedrückten Körper stehenden Luftsäule. Da wir auf einem hohen Berge oder in den Aequatorialgegenden uns von dem Erdmittelpunkte entfernter be-

findet. Wird nun der Kolben aufwärts, d. h. von dem mit Luft gefüllten Gefäße hinweggezogen, welches mit großer Kraftanwendung geschieht, während die Seitenröhre c durch den Hahn d geschlossen, und die Mündung in das Gefäß durch den Hahn f geöffnet ist, so dringt ein Theil der Luft in dem Gefäße aus diesem in den hohlen Raum des Cylinders. Schließt man durch Umdrehen des Hahnes f die Hohlraumverbindung des Cylinders mit dem Gefäße ab, und schiebt oder drückt den Kolben bei gleichzeitigem Oeffnen der Seitenröhre c durch Umdrehen des Hahnes d wieder in den Hohlraum gegen das Gefäß zu, so wird die in den Hohlraum des Cylinders ehevor hineingezogene Luft durch die nach außen geöffnete Seitenröhre ausgetrieben. Schließt man darauf wieder die Seitenröhre, öffnet wieder die Mündung des Gefäßes und zieht den Kolben wieder bis zum Cylinderrand heraus, so wird abermals eine Menge Luft aus dem Gefäße in den Hohlraum des Cylinders gezogen. Auf gleiche Weise wie das erstemal wird die in den Hohlraum gezogene Luft wieder durch die Seitenröhre ausgetrieben. Je öfter dieses Herausziehen von Luft aus dem Gefäße und das Austreiben der Luft aus dem Hohlraum des Cylinders wiederholt wird, desto weniger Luft wird in dem Gefäße endlich vorhanden seyn, — es wird so viel als möglich luftleer, oder besser gesagt, desto verdünnter und leichter wird die in dem Gefäße noch befindliche Luft seyn. — Bei verkehrtem Verfahren, nämlich bei dem Ausziehen des Kolbens während des Geschlossenseyns des Hahnes f, und des Geöffnetseyns des Hahnes d, — und dem darauf folgenden Schließen des Hahnes d, und Oeffnen des Hahnes f während Wiedereinschiebens des Kolbens wird von außen Luft in das Gefäß eingeführt, wird die Luft in dem Gefäß vermehrt und verdichtet (L u f t p r e s s e).

finden, als an den Ufern des Meeres oder in den Polargegenden, so haben wir in jenen Höhen einen geringern Druck der Luft zwischen uns und der äußersten Grenze des Erdanziehungskreises, als bei gleichmäßig specifischem Gewicht derselben in der Tiefe zu erleiden. Wir fühlen wohl an unserem Körper den Unterschied des Luftdruckes in verschiedenen Höhen, besonders bei jähem Wechsel unseres Aufenthaltsortes, und der Zusammenhalt unserer Körpertheile kann, so wie er ist, ohne den Luftdruck nicht bestehen. Gleich dem Wärme- und dem Schweremesser für feste Körper, der Wage, haben wir uns auch einen Luftdruck- oder Luftschweremesser, den Barometer geschaffen, mit dem wir den verschiedenen Druck der Luft in Maaß und Grade berechnen können.

In dem Barometer wird nämlich der Druck einer Flüssigkeitssäule, insgemein einer Quecksilbersäule mit dem Drucke einer Luftsäule von der Höhe zwischen uns und der äußersten Grenze der Erdschwerkraft und von gleicher Basis verglichen. Taucht man das eine offene Ende einer Röhre in ein mit einer Flüssigkeit, z. B. Wasser gefülltes Gefäß, so wird sich die Flüssigkeit in der Röhre so hoch stellen wie außerhalb, weil der Druck der Luft in der Röhre gerade so auf die Flüssigkeit wirkt wie außerhalb. Saugt man aber einen Theil der Luft aus der Röhre, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre in die Höhe. Es wird hiedurch nämlich die Luft in der Röhre verringert, verdünnt, und die Luft in der Röhre durch den Mund vor dem Druck der atmosphärischen Luft geschützt, während die Flüssigkeitsmasse, in welche die Röhre mit dem einen Ende eingetaucht ist, dem Druck der Atmosphäre ausgesetzt bleibt. Durch diesen äußeren Luftdruck wird nun die Flüssigkeit in den Hohlraum der Röhre hineingedrückt, bis der Widerstand des zusammengedrückten Luftrestes in der Röhre, die Schwere desselben, und die Schwere der in der Röhre über das Niveau der äußern Flüssigkeitsmasse sich befindenden Flüssigkeitsmenge gleich gekommen ist der Schwerkraft einer auf die äußere Flüssigkeitsmenge drückenden Säule atmosphärischer Luft, welche von gleicher Basis wie die Flüssigkeitssäule im Innern der Röhre ist. Als die Pumpenmacher von Florenz das Wasser über 32 Fuß heben wollten, sahen sie zu ihrem größten Erstaunen, daß es nicht höher stieg. Galiläi, als ihm die von den Pumpenmeistern gemachte Beobachtung mitgetheilt wurde, kam auf die Vermuthung, daß die Schwere der Luft die Ursache dieser Erscheinung sey. Sein Schüler Toricelli gab

dafür entscheidende Beweise, und machte ungefähr die Schlußfolge: wenn zwei verschiedene Flüssigkeitssäulen sich das Gleichgewicht halten sollen, so müssen die Höhen der beiden Säulen sich umgekehrt verhalten wie ihre Dichtigkeiten, d. i. ihre Schwere. Das Quecksilber wiegt nahe 14 mal so schwer als Wasser. Wenn nun der Druck der atmosphärischen Luft eine Wassersäule von 32 Fuß tragen kann, so muß er demnach eine Quecksilbersäule von $^{32}/_{14}$ Fuß, d. i. nahe 28 Zoll tragen können.

Füllt man eine ungefähr 30 Zoll lange, an dem einen Ende verschlossene Glasröhre ganz mit reinem Quecksilber, hält das offene Ende mit den Fingern zu, taucht letzteres in ein Gefäß mit Quecksilber, so daß die Röhre vertikal steht, und zieht man unter demselben den Finger von dem offenen Ende der Röhre hinweg, so wird man alsbald das Quecksilber um einige Zoll (je nach der Höhenlage, in der man sich befindet) sinken sehen. Ein solcher Apparat ist ein Barometer, — der in dem obern Theil an dem verschlossenen Ende durch das Herabsinken des Quecksilbers entstandene (scheinbar) leere Raum wird die *Toricelli'sche* Leere genannt. Die vertikale Höhe des Niveaus in der Röhre über dem Niveau im Gefäße heißt die *Barometerhöhe*, welche nicht an allen Orten und zu allen Zeiten gleich ist. Sie beträgt am Ufer des Meeres nahe 28 Pariser Zoll. Eine solche Quecksilbersäule von 1 Quadratcentimeter Grundfläche hat einen Kubikinhalt von 76 Kubikcentimetern. Da nun ein Kubikcentimeter Quecksilber 13,59 Gramme wiegt, so ist der Druck dieser Säule auf ihre Basis 76 . 13,59 Gramme = 1,033 Kilogramme. Die atmosphärische Luftsäule, welche im Niveau des Meeres auf einem Quadratcentimeter Basis ruht, drückt also auf diese Fläche mit einem Gewichte von 1,033 Kilogrammen.



Das Barometer ist eine Wage, in welcher das Gewicht einer Luftsäule durch ihren Druck auf die Quecksilberunterlage gleich kömmt dem Gewichte einer beiläufig 28 Zoll hohen Quecksilbersäule, welche ebenfalls auf dieselbe Unterlage drückt. Die Quecksilbersäule ist das Gewichtsmaß für eine atmosphärische Luftsäule von gleicher Basis.

Wirkung des Druckes auf Gase. Durch Druck, welcher auf Gase ausgeübt wird, wird das Volumen der Gase vermindert. Daher das von Mariotte aufgestellte Gesetz: „Das Volumen der Gase verhält sich umgekehrt wie der Druck, dem sie ausgesetzt sind“, oder: „Die Dichtigkeit der Gase ist dem Drucke proportionel, den sie auszuhalten haben.“

Unter dem Druck einer Atmosphäre ist die Dichtigkeit der Luft $1/770$ von der Dichtigkeit des Wassers, — es wäre demnach ein Druck von 770 Atmosphären nöthig, um die Luft eben so dicht zu machen als Wasser. Das Volumen einer Menge von Luft würde aber in diesem Falle auch um 770 mal verkleinert werden.

Durch die Erdmitteanziehung oder die Schwere der von dem Erdmittelpunkt entfernteren Erdkörper wird, wie wir schon öfters bemerkten, auf die in gleichem Erdradius befindlichen dem Erdmittelpunkt näher liegenden Erdkörper ein Druck ausgeübt. Das dem Erdmittelpunkt am nächsten gelegene Körpertheilchen hat den Druck aller in gleichem Erdradius befindlichen Erdkörpertheilchen zu ertragen, das von dem Erdmittelpunkt entfernteste Körpertheilchen allein hat durch die Schwerkraft keinen Druck zu erleiden. Je näher also ein Körpertheilchen dem Erdmittelpunkte liegt, einen desto stärkeren Druck hat dieses, — und je entfernter von demselben ein Körpertheilchen liegt, einen desto schwächeren Druck hat letzteres zu erleiden. Da die Intensität der Schwere im Quadrate der Entfernung eines Körpers von dem Erdmittelpunkte abnimmt, — der Schwerdruck aber von der Schwerkraft abhängig ist, so nimmt auch der Druck, den ein Erdkörper von dem Erdmittelpunkt entfernteren Körpern zu erleiden hat, im Quadrate seiner Entfernung von dem Erdmittelpunkte ab, und im Quadrate seiner Annäherung an den Erdmittelpunkt zu.

Da der Druck auf einen Körper auch eine Ursache zu vermehrter Zusammenziehung eines Körpers und seiner Theile ist, so ist aus obigem zu folgern, daß, je näher ein Erdkörper dem Erdmittelpunkte liegt oder ihm näher gerückt wird, auch er desto mehr zusammengedrückt, in desto größeren Zusammenziehungszustand versetzt wird, — und je entfernter ein Erdkörper von dem Erdmittelpunkte ist oder je mehr er von demselben entfernt wird, er desto weniger zusammengedrückt wird, sein Zusammenziehungszustand ein desto geringerer wird. Ein Körper oder ein Körpertheilchen kann sich daher in einer von dem Erdmittelpunkt entfernteren Stelle

leichter ausdehnen, — in einer dem Erdmittelpunkt näheren Stelle leichter zusammenziehen. Eine bestimmte Menge Wasser bedarf in der Nähe einer bestimmten Wärmequelle an einem dem Erdmittelpunkt entfernteren Orte eine kürzere Zeit zur Ausdehnung, zu seiner Verdunstung, als an einem dem Erdmittelpunkte näheren Ort bei gleich großer Wärmeintensität, — d. h. Wasser siedet auf einem Thurme oder hohen Berge, oder in den Aequatorialgegenden bei geringerem Wärmegrad, als im Thale, am Meeresufer oder in den Polargegenden, — weil dort in der Höhe ein geringerer, hier in der Tiefe ein größerer Druck der atmosphärischen Luft auf dem Wasser lastet, — dort mehr, hier weniger das Wasser zusammengedrückt wird.

Eine tiefer liegende Luftschichte ist daher auch eine dichtere, die Luft einer höher gelegenen Schichte ist dünner. Wenn auf Gase ein hinreichend starker Druck künstlich ausgeübt wird, so können sie in tropfbarflüssigen Zustand versetzt werden.

Druck durch Gase. Gase drücken auf ihre Unterlage durch die Kraft, mit welcher ihre Atome von dem Erdmittelpunkt angezogen werden. Eingeschlossen in Gefäße, aus denen sie nicht entweichen können, üben sie gleich den tropfbarflüssigen Körpern einen ihrer Schwere entsprechenden gleichmäßigen Druck auf die Wände derselben aus. Da aber Gase sehr zusammendrückbar sind, so ist es möglich, daß ein und dasselbe Gefäß einmal mit einer Menge von ausgedehnteren Gasatomen, ein andermal mit einer in dasselbe Volumen eingeengten Menge zusammengedrückter Gasatome angefüllt ist. (Tropfbarflüssige Körper sind sehr wenig, vielleicht gar nicht zusammendrückbar, — ihre geringe Zusammendrückbarkeit ist vielleicht der Zusammendrückbarkeit der ihren Atomen anhängenden Gasatome zuzuschreiben.) Die Wände eines mit dichterem Gas angefüllten Gefäßes haben von diesem einen größeren Druck zu ertragen, als die Wände eines mit weniger dichtem Gas angefüllten Gefäßes. Zu dem Druck der absoluten Schwere der in einem Gefäße eingeschlossenen Gasmenge gesellt sich aber auch der Druck, welchen die Gasatome durch ihr Ausdehnungsstreben — ihre S p a n n k r a f t — auf die sie umgebenden Gasatome und die Gefäßwände ausüben. Dieses Ausdehnungsstreben, diese Spannkraft ist aber um so größer, je mehr ein Gaskörper zusammengedrückt ist worden. Dieser durch die Spannkraft zusammengedrückter Luftarten auf die Wände oder auf die in diesen angebrachten verschieb-

baren Theile der sie einschließenden Gefäße ausgeübte Druck ist die Quelle von Bewegung. Maschinen, welche durch Dampfkraft in Bewegung, in Gang gesetzt werden, beruhen auf obiger Grundlage. Ist der Widerstand, die Zusammenhangskraft der Wände der Gefäße, in welchen Gase eingeschlossen sind, größer als die Spannkraft der eingeschlossenen Gasmenge, so werden durch eine immer zunehmende Vermehrung der Gasmenge in einem Gefäße die Atome dieses Gases immer mehr zusammengedrückt, gewisse Gase sogar in tropfbarflüssigen Zustand versetzt. Die unter dem gewöhnlichen atmosphärischen Luftdruck in Gasgestalt erscheinende Kohlensäure, welche specifisch schwerer als Luft ist, wird durch fortgesetztes Einpumpen, Einpressen in ein eisernes Gefäß in eine Flüssigkeit verwandelt, welche erst dann durch Kälte in festen Zustand gebracht werden kann. Bringt man in eine starke knieförmig umgebogene Glasröhre etwas Cyanquecksilber, und schmelzt das offene Ende zu, — erwärmt hiernach das längere Ende der Röhre, in welchem das Cyanquecksilber sich befindet, mittelst einer Weingeistlampe vorsichtig, so bildet sich Cyangas, welches sich theils durch den Druck, den das neu sich entbindende Cyangas auf das vorher gebildete ausübt, theils durch die Kälte, der man das obere Ende durch Eintauchen in kaltes Wasser aussetzt, verdichtet und in eine tropfbare Flüssigkeit verwandelt.

Ausströmen der Gase. Ein Gas strömt durch die Oeffnung eines Gefäßes aus, wenn der Druck, welcher auf das Gas ausgeübt wird, größer ist, als der Druck der atmosphärischen Luft. Im übrigen erfolgt das Ausströmen der Gase nach denselben Gesetzen, nach welchen tropfbare Flüssigkeiten ausfließen. Gasbehälter, welche so eingerichtet sind, daß ein fortwährendes Ausströmen des Gases bewirkt werden kann, nennt man Gasometer. Durch den Druck einer Wassersäule oder durch den Druck eines schweren Deckelcylinders auf die Gasmenge wird bei dieser das Ausströmen unterhalten. Blasebalge und verschiedene andere Gebläseapparate treiben, auf verschiedene Weise in Bewegung gesetzt, eine vorher eingezogene Luft nach einer bestimmten Richtung aus.

Ausflußgeschwindigkeit der Gase. Je größer der Druck ist, den eine Gasmenge erleidet, desto schneller fließt ein Gas aus. Je größer das Ausdehnungsstreben der Atome eines Gases ist, also je specifisch leichter ein Gas ist, desto größer ist die Ausflußgeschwindigkeit desselben, — und umgekehrt je dichter und specifisch

schwerer ein Gas ist, desto langsamer fließt es aus. Aus dem Gefäß, in dem ein Gas eingeschlossen war, ausgeflossen, steigt ein Gas, welches viel leichter ist als atmosphärische Luft, schneller in die Höhe, als ein Gas, welches ein wenig leichter ist als die atmosphärische Luft. Da ein specifisch leichteres Gas schneller in die Höhe steigt, wenn es aus einer Gefäßöffnung eben ausgeflossen, das Fallen aber von der Höhe des Gefäßes, in dem es enthalten war, gleich schnell ist, es mag leichter oder schwerer seyn, so wird die nach den bekannten Gesetzen erfolgende Geschwindigkeit des Fallens durch die größere Geschwindigkeit des Steigens in der atmosphärischen Luft bei einem specifisch leichtern Gas vermehrt. Die resultirende Ausflußgeschwindigkeit eines Gases aus einem Gefäße ist daher bei Anwendung von gleich starkem Drucke gleich der Summe der Fallgeschwindigkeit im Gefäße und der Geschwindigkeit des Steigens außerhalb derselben in der atmosphärischen Luft. Demnach steht die Ausflußgeschwindigkeit eines Gases in umgekehrtem Verhältniß zu seiner specifischen Schwere, oder, was mit demselben übereinstimmt, zu seiner Dichtigkeit. Ist die Ausflußöffnung eines Gefäßes statt an den untern Theilen der Gefäßwandung oben angebracht, so wirkt außer dem Drucke im Gefäße nur die Geschwindigkeit, mit welcher das Gas in der atmosphärischen Luft in die Höhe gehoben wird, als beschleunigende Kraft. Umgekehrt läßt sich daher auch aus der Ausflußgeschwindigkeit eines Gases auf die specifische Schwere oder Dichtigkeit des Gases schließen, wie Bunsen es ausgeführt hat.

Anmerkung. Der Apparat, dessen sich Bunsen hiezu bedient, besteht aus einem Glascylinder, welcher mit reinem Gas gefüllt ist und in einen Quecksilberbehälter so eingetaucht wird, daß ein auf dem Quecksilber schwimmender Körper — ein aus einer verschlossenen Glasröhre verfertigter Schwimmer — in die untere weite Oeffnung des Glascylinders eindringt. An dem oben verengten Ende dieses Glascylinders ist innen ein dünnes Platinplättchen eingeschmolzen, welches eine feine Oeffnung hat, durch welche das Gas ausströmen kann. Ober dieser Stelle ist ein Hals angebracht, in welchen ein Stöpsel paßt. Oeffnet man den obern Ausgang des Glascylinders durch Hinwegnahme des Stöpsels, so wird durch den Druck der atmosphärischen Luft auf das Quecksilber das Gas ausgetrieben, — und man kann nun mit Hilfe eines Fernrohrs genau absehen, in welcher Zeit der dem äußern Niveau des Quecksilbers gleich gekommene Schwimmer bis zu einer gewissen

Luftströmung. Wenn die Luft in irgend einer Richtung einen Stoß erleidet, so wird sie, beziehungsweise die angestoßene Luftmenge aus ihrer Lage verdrängt werden. Da aber anderseits die nachbarliche Luftmenge vermöge des großen Ausdehnungsstrebens der Luftatome dem von der bewegten Luftmenge fortgepflanzten Stoß Widerstand leistet, so werden die Lufttheilchen der ersten Luftmenge wegen ihrer großen Zusammendrückungsfähigkeit zusammengedrückt und die Luftmenge, die sie bilden, verdichtet. Zusammengedrückt streben die Lufttheilchen sich wieder auszudehnen, — die Luftmenge wird verdünnt, — und sich ausdehnend drängen sie zum Theil ihre Nachbarlufttheile wieder von ihrer Stelle, zum andern Theil drücken sie dieselben zusammen, — und die zweite Luftmenge erfährt durch die erlittene Stoßbewegung dieselbe theilweise Fortbewegung und von dem Widerstand einer dritten Luftmenge dieselbe theilweise Zusammendrückung, — Verdichtung, der wieder Verdünnung folgt, — und so fort pflanzt sich die Stoßbewegung, Platzveränderung, Verdichtung und Verdünnung von einer Luftmenge zur andern, bis die Stoßbewegung an Körper gelangt ist, welche sich so viel bleibend zusammenziehen als Raum nöthig ist, die Körper aufzunehmen, welche die durch den Stoß verdrängte Luftmenge nöthig hat.

Luftschwingung. Ist die Stoßkraft aber eine aussetzende, hört sie nach einer bestimmten Zeit wieder auf, so ist den Lufttheilchen, welche zuerst von der Stoßkraft entweder aus ihrem Platz verdrängt oder zusammengedrückt wurden, wieder gestattet, an ihren alten Platz zurückzukehren oder sich wieder auszudehnen. Ehe aber diese Lufttheilchen an ihren alten Platz zurückgekehrt sind, haben sie den Stoß zur nächstanliegenden Luftmenge fortgepflanzt. Die den fort-

Länge in dem Glascylinder bis zu derselben Niveauhöhe emporsteigt. Durch Vergleichung des Zeitgebrauches hiezu bei verschiedenen Gasarten läßt sich die größere oder geringere Ausflußgeschwindigkeit eines oder des andern Gases bestimmen. So hat sich z. B. gefunden, daß atmosphärische Luft 117,6 Sekunden, Knallgas 75,6 Sekunden zum Ausfließen brauchte, bis der Schwimmer zu einer bestimmten Höhe gestiegen. Aus diesen Messungen ergibt sich nun das specifische Gewicht des Knallgases (Luft gleich 1) $\frac{75,6}{117,6} = 0,413$, übereinstimmend mit dem aus dem specifischen Gewicht des Sauerstoffes und Wasserstoffes berechneten specifischen Gewichte der Knallgase, aus welchen es besteht.

gepflanzten Stoß erhaltende zweite Luftmenge verläßt wie die erste zum Theil ihren Platz, zum Theil wird sie verdichtet. Die zweite in Bewegung gesetzte Luftmenge setzt auf dieselbe Weise, wie die erste sie, eine dritte anstoßende Luftmenge in Bewegung und verdichtet sie, — und so die dritte eine vierte, fünfte, u. s. f. Diese secundär bewegten und zusammengedrückten Luftmengen kehren an ihren alten Platz wieder zurück und dehnen sich wieder aus in dem Maaße, als die ursprüngliche und folgerecht die eine jede folgende Luftmenge in Bewegung setzende Kraft aufgehört hat. Eine solche Luftmenge, welche von ihrem Platz verdrängt wieder an denselben zurückkehrt, ist in Schwingung begriffen. Die Luft geräth durch einen momentanen Stoß in eine schwingende Bewegung, wie eine Flüssigkeit, oder ein Pendel; man kann schwingende Luftmengen Luftwellen nennen. Die Luftwellenberge entstehen durch Zusammenstoßen der verdichteten Luftmengen, — die Luftwellenthäler durch die Wiederverdünnung der vorher verdichteten Luftmengen.

Wirkung der Luftschwingung auf unsern Körper. Ein durch die Luft fortgepflanzter Stoß, eine an uns anstoßende verdichtete Luftmenge (Windstoß) bewirkt an den Zellen unserer Haut eine Zusammenziehung, ein Gefühl von Kühle oder Kälte. Die Empfindung einer anstoßenden Menge verdichteter Luft in unseren Gehörwerkzeugen durch die Hörnerven nennen wir Schallen. Die Empfindung andauernder Luftbewegung oder ununterscheidbar dem Ohr zugeführter Luftschwingungen nennen wir ein Geräusch. Ein Schall, der nur durch einen einzigen Stoß der Luft in unserem Ohr hervorgebracht wird, nennen wir einen Knall. Je größer die Menge der an unser Ohr anstoßenden verdichteten Luftmenge ist, desto stärker ist der Schall. Eine Anzahl von mehreren schnell auf einander folgenden Luftstößen erzeugen in unserem Ohr die Empfindung, welche wir einen Ton nennen. Ein Ton ist die Wirkung einer Anzahl von in gleichen Zeitabschnitten unsere Gehörnerven treffenden Stößen von Luftschwingungen, Luftwellen. Je kleiner die Oscillationsdauer einer Luftwelle und demgemäß je größer die Anzahl der Schwingungen in einem Zeitmomente ist, welche unser Ohr treffen, desto höher ist der Ton, den wir hören, — je länger hingegen die Oscillationsdauer der Schwingung einer Luftmenge und demgemäß je geringer die Anzahl der Schwingungen, deren Stöße unser Ohr in einem Zeittheilchen treffen, desto tiefer ist der Ton, den wir hören. Bei einer öfter wiederholten Stoß-

berührung unseres Gehörnerven nämlich wird derselbe mehr zur Zusammenziehung gedrängt, gereizt, — als bei einer weniger oft auf einander folgenden Stoßberührung des Gehörnerven. Zu hohe Töne werden unserem Ohr auch unangenehmer, — niedere nicht. Der Character, der Klang der Töne hängt von der mehr oder minder bedeutenden Zusammengedrücktheit, Zusammenziehung der Luftatome her, welche von der Schwingungsbewegung eines aus mehr oder weniger zusammengezogenen Atomen bestehenden Körpers, eines metallenen, hölzernen oder faserigen Körpers verursacht worden sind. Je metallener der Ton, wie wir gewisse Töne zu nennen pflegen, desto zusammengezogener sind die einzelnen Atome der in Schwingung befindlichen und unser Ohr treffenden Luft.

Fortleitung des Schalles. Schwingende Luftmengen, welche in unserem Ohr einen Schall verursachen, nennen wir Schallwellen. Sie werden erzeugt durch die intermittirenden Stöße schwingender Körper, welche rings mit Luft umgeben sind, und die Stoßbewegung der Luft mittheilen können. Die Schallwellen, aus schwingender Luft bestehend, können aber auch wieder flüssigen oder festen Körpern die Schwingungsbewegung mittheilen, und von diesen wieder andern Luftschichten übertragen werden, in denen wir uns befinden.

Es gehört unter die Bedingnisse zur Schallerzeugung, daß die Luft verdichtet werde, denn nur die an unser Ohr gestoßene verdichtete Luft vermag unsern Gehörnerven in dem Maaße zu drücken, daß dessen Nervenkörperchen in Zusammenziehung gebracht werden, worin ja eben nach unserer Annahme die Empfindung des Schalles besteht. Luft, welche nicht merkbar verdichtet wird, erregt keine Schallempfindung in unserem Ohr und pflanzet Schallwellen nicht fort. Wird aus einem luftdicht verschlossenen Glassturz, in welchem eine metallene Glocke hängt, mittels einer Luftpumpe die in demselben befindliche Luft ausgepumpt, also möglichst verdünnt, die Anzahl der Luftatome auf die geringste gesetzt, so daß der Rest der darin bleibenden Luftatome wegen des durch Auspumpen der übrigen Luftatome entstehenden leeren Raumes sich sehr auszudehnen genöthigt ist, — so wird bei der Bewegung der Glocke kein Schall vernommen, der sogleich und um so mehr vernehmbar ist, sobald und um so viel mehr Luft wieder in den Glassturz eingelassen wird. Die sehr ausgedehnten Luftatome in geringer Anzahl in dem Raum innerhalb des Glassturzes vorhanden, können keine verdichtete Luftmasse bilden, welche eine Schallempfindung erregende Luft-

schwingung, eine Schallwelle fortpflanzen kann. In der Abwechslung von Verdichtung und Verdünnung aber besteht das Wesen der Luftschwingung, wie in dem Fallen und Steigen des Schwerpunktes eines Pendels das Wesen der Pendelschwingung und in dem Zusammenstoß und Wiederauseinanderweichen der Wassertheile das Wesen der Wasserwellen besteht. Auf sehr hohen Bergen, z. B. dem Montblanc (nach Saussure's Beobachtung) und in den höheren Luftschichten (z. B. in einem 700 Meter hoch gestiegenen Luftballon, nach Gay Lussac's Beobachtung), ist der Schall, durch einen Pistolenschuß hervorgebracht, oder jener der gesprochenen Worte viel weniger vernehmbar, als in tieferen Luftschichten, in Thälern, — denn in der Höhe ist die Masse der atmosphärischen Luft dünner, in den Tiefen dichter.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen hängt von der Beschaffenheit der Atome der Fortpflanzungsmedien ab. Je größere Zusammenziehungsfähigkeit die Atome derselben besitzen, desto schneller werden von ihnen die Schallwellen fortgeleitet, und umgekehrt. Metalle pflanzen die Schallbewegung mit größerer Geschwindigkeit fort, als die übrigen Körper, — in dem Wasser pflanzt sich der Schall schneller fort, als in der Luft, — in dichterer Luft schneller, als in verdünnter Luft, oder specifisch leichteren Gasarten. Ein hart an dem Ufer mit dem Ohr nahe an dem Wasser eines Sees sich befindender Mensch hört den Ruderschlag von einem fernen Schiffe eher, als ein unweit davon auf einer Anhöhe stehender. In der Luft legt der Schall in Einer Sekunde 340,88 Meter zurück. In ein und derselben Luftart, in einer Luft von gleicher Dichtigkeit pflanzt sich die Schwingung gleich schnell fort, die Schwingung mag ursprünglich durch einen starken oder schwachen Stoß hervorgebracht worden seyn, gleichwie die Dauer der Pendelschwingungen nur von der Länge der Pendelschnur, nicht von der Größe der Gewalt abhängt, welche das Pendel aus seinem Gleichgewicht, in Bewegung gebracht hat.

Die schallerregenden Luftwellen schreiten nach allen Richtungen der Luft hin fort. Erschwert wird am meisten ihre Fortpflanzung in vertikal in die Höhe steigender Richtung, — beschleunigt in vertikaler fallender Richtung. Die horizontale Richtung steht in dieser Beziehung in der Mitte.

Wenn Schallwellen von entgegengesetzter Richtung kommend

auf einander stoßen, tritt die von links kommende Schallwelle vorwärts schreitend in die Bahn der von rechts kommenden Schallwelle, — und die von rechts kommende Schallwelle in die Bahn der von links kommenden Schallwelle, — sie durchstreichen sich, wie die Wasserwellen. Ein Ohr in der Bahn der von links kommenden Schallwelle hört dann auf diese und fängt an, die von rechts kommende Schallwelle zu hören, — und ein Ohr auf der Bahn der von rechts kommenden Schallwelle hört nun statt dieser die von links kommende Schallwelle. Schallwellen, welche in einem rechten Winkel sich treffen, vernichten sich gegenseitig. Ein Ohr am rechtwinkeligen Vereinigungspunkt beider Schallwellen, an einem Nachbarpunkt außerhalb des Zusammenstoßwinkels, hört keinen der beiden Töne (Polarisation der Töne). Schallwellen, welche sich in einem spitzen Winkel treffen, schwächen gegenseitig die Stärke ihres Tones, in um so höherem Grade, als sich der Zusammenstoßwinkel einem rechten Winkel nähert. Ein Ohr in der Verlängerungslinie der Einen Schallwellenbahn durch den Kreuzungspunkt mit der andern Schallwellenbahn vernimmt den Ton schwächer, als in der Schallwellenbahn vor dem Kreuzungspunkt. An einem Punkte der Verlängerungslinie derselben Entfernung von dem Kreuzungspunkte wird ein Ohr einen Ton von ein und derselben Stärke um so schwächer vernehmen, um so mehr sich der Zusammenstoßwinkel beider Schallwellenbahnen einem Rechten nähert.

Widerhall. Wenn schallerregende Luftwellen auf Körper stoßen, welche nicht zu schwingen vermögen, oder wenigstens nicht in der Richtung, in welcher sie angestoßen werden, also die Schallbewegung nicht fortpflanzen können, aber dem Anstoß Widerstand leisten, so werden die Schallwellen reflektirt, die Stoßbewegung nach den Gesetzen der Reflexion zurückgeleitet. Man nennt dieß Widerhall, Resonanz, Echo. Der Reflexschall ist stärker als der ursprüngliche Schall, weil durch die Widerstandskraft des reflektirenden Körpers die Kraft, mit welcher die schallerregende Luftwelle bewegt wird, mehr oder weniger, je nach der größeren oder geringeren Widerstandskraft vermehrt wird. Der Widerhall durch eine einzige Schallwelle veranlaßt, wird ein mehrfacher, wenn der Reflexionskörper eine Felsenwand oder Mauer von großer Breite ist, — weil die kugelförmige oder elliptische Schallwelle, je weiter sie von ihrer Ursprungsstelle entfernt ist, also in je einem größeren Kreise, Peripherie, an der Reflexionswand sie ankommt, in desto mehr ver-

schieden auf einander folgenden Zeitmomenten an die geradlinige Reflexionswand anschlägt und zurückgeworfen wird.

Der Widerhall ist einfach, wenn der reflektirte Schall seine Fortpflanzung in der Luft wieder findet und in dieser sich endlich verliert, — doppelt oder mehrfach, wenn die reflektirten Schallwellen der Luft abermals an einem reflektirenden Körper anprallen und neuerdings reflektirt werden. Da der Reflexionswinkel gleich ist dem Einfallswinkel, so wird ein Schall in der entgegengesetzten Richtung unter demselben Winkel von dem Widerstandskörper reflektirt, unter dem er angestoßen wurde.

Gewölbe, Ellipsen, werfen den Schall, der an einer bestimmten Stelle derselben hervorgebracht wird, vermöge der eigenthümlichen Winkel an eine bestimmte Stelle zurück, so daß er nur an dieser, und keiner andern gehört wird.

Musikalische Töne. Auf dem Gesetze der Reflexion des Schalles beruhet die Eigenthümlichkeit der musikalischen Instrumente. Luft, welche auf einer Seite der Mündung eines hohlen Körpers, z. B. einer Flasche oder Röhre, eingeblasen wird, verursacht, indem sie von der Hohlwand derselben zurückgeworfen wird, an der andern Seite der Mündung Schwingungen, welche einen Ton in unserem Ohr erregen. Dieser Ton ist um so tiefer, je tiefer das Hohlgefäß oder die Röhre ist, — aus dem Grunde, weil die Entfernung in tieferen Gefäßen oder langen Röhren von der Einblasestelle und der Reflexionsstelle, und zwischen dieser und der Schwingungspartie des Gefäßes eine größere ist, — also in ein und demselben Moment und durch ein und denselben Stoß durch Lufteinblasen langsamer auf einander folgende, weil längere Schwingungen an der einen Hälfte der Mündung des Gefäßes oder der Röhre hervorgebracht werden, — daher auch unser Ohr einen tieferen Ton vernehmen muß. Aehnliche Beschaffenheit hat eine Orgelpfeife, — eine lange Röhre mit zwei Oeffnungen, durch deren eine am Fuße angebrachte Luft eingeblasen wird, welche durch die Länge der Röhre getrieben an der Rückwand derselben einen Widerstand findet, hier verdichtet eine Luftwelle bildet, und gegen die zweite Oeffnung hin reflektirt wird, — und an den Lippen der Oeffnungsspalte, des Mundes, abermals verdichtet die Lippen in Schwingung, Zittern, versetzt. Der Ton, welcher durch das Einblasen der Luft hervorgebracht wird, ist um so tiefer, je länger die Pfeifenröhre ist, — und um so höher, je kürzer die Röhre ist, — weil die Luftwelle

zwischen der Einblasemündung und der Reflexionsstelle, und die Luftwelle zwischen letzterer und der in Schwingung versetzten Mundlippe bei längerer Röhre eine längere, die Dauer der Luftschwingung also auch eine größere, — die Anzahl der in der Mundlippe hiedurch erregten Schwingungen in ein und demselben Zeitmomente auch eine geringere ist, — und so umgekehrt bei einer kürzeren Röhre. Der Ton aber wird höher, wenn die Gewalt, mit der die Luft in die Orgelpfeife eingetrieben wird, eine stärkere ist, — weil durch eine stärkere Gewalt die Luft schneller zur Reflexionsstelle getrieben und von dieser zur Mundöffnung zurückgeworfen wird, an den Lippen dieser also auch schneller auf einander folgende Schwingungen hervorbringt. Der Ton wird unter übrigens gleichen Umständen höher, wenn die Mundöffnung, der Spalt, breiter wird, wodurch die Mundlippe fähiger zum Schwingen gemacht wird, daher leichter und schneller schwingt. Je leichter der Stoff, aus welchem die Röhre beziehungsweise die Lippen der Mundöffnung verfertigt sind, zum Schwingen fähiger, je elastischer er ist, desto schneller schwingt die Mundlippe und desto höhere Töne producirt sie.

Nur an den Stellen einer Röhre, an welchen die eingeblasene Luft anstößt, verdichtet und reflektirt wird, ist ein Ton zu vernehmen, wenn an diesen eine Oeffnung gemacht wird. An allen übrigen, wo die Luft nicht anstößt, nicht verdichtet, sondern verdünnt ist, tönet die Lippe einer angelegten Oeffnung nicht. Die Construktion der Blaseinstrumente von Holz oder Metall beruhet darauf, z. B. Flöten, Clarinette, Fagotte, Klapptrompeten ꝛc. — Die schallerregenden Luftwellen werden bei diesen erzeugt durch die sogenannte Zunge, Mundstücke, — dünne Metallplättchen an der Oeffnung einer Röhre, wodurch die Luft getrieben wird.

Bei den Saiteninstrumenten werden die Schallwellen erzeugt durch Berührung, Bestoßung oder Bestreichung gespannter Metall- oder Darmsaiten, so daß sie Schwingungen machen. Endlich werden noch Töne durch Betupfen oder Beschlagen und dadurch hervorgebrachte Schwingungen von Platten von Holz, Glas oder Metall erzeugt.

Bei Blaseinstrumenten mit Zungenpfeifen, Mundstücken, bringt die durch Blasen in Schwingungen versetzte Zunge die eingeblasene Luft in Schwingungen, die sich durch die ganze Röhre hindurch fortpflanzen. An verschiedenen Stellen der Röhrenwände angebrachte und geöffnete Löcher lassen die schwingende Luft ausströmen. An

den der Zunge näher gelegenen Löchern der Röhre strömt die schwingende Luft weil näher der die Schwingung hervorbringenden Kraft schneller aus, als an den von der Zunge entfernteren Löchern. Die Luftwellen, welche von den oberen Löchern ausgehen, sind kleiner und ihre Schwingungen von kürzerer Dauer, als jene aus den unteren Löchern. Aus den oberen Löchern gelangen also in einem Zeitmomente eine größere Anzahl von Luftwellen an unser Ohr, als aus den unteren, — jene erregen daher die höheren, diese die tieferen Töne.

Bei den Saiteninstrumenten hängt die Tiefe oder Höhe des Tones von der Länge oder Dicke der Saite ab. Längere, dickere oder wenig gespannte Saiten verursachen durch ihre Schwingung größere und länger andauernde Luftwellen, — kürzere, dünnere und sehr gespannte Saiten kleinere und kürzer andauernde Luftwellen, — jene also in einem Zeitmomente mehr, diese weniger Luftwellen, jene also einen tieferen, diese einen höheren Ton.

Ebenso erreget bei Scheiben- oder Platteninstrumenten das Anschlagen größerer Platten einen tieferen, das Anschlagen kleinerer Platten einen höheren Ton.

Um den Ton, den die Saiten- oder Klangscheiben-Instrumente durch ihre Versetzung in Schwingung hervorbringen, zu verstärken, sind sie mit sogenannten Resonanzapparaten, Resonanzböden, versehen, welche die Schallwellen zurückwerfen, reflektiren, und somit die zu unserem Ohr gelangenden Luftwellen verstärken, die Luftwellenberge vergrößern, die Luft der zum Ohr gelangenden Wellenberge mehr verdichten.

Savart hat durch Versuche dargethan, daß der niederste bis jetzt hervorgebrachte Ton 7 bis 8 Luftschwingungen, Schwingungen einer Luftwelle in Einer Sekunde, — und der bisher höchste Ton, von unserem Ohr von gewöhnlicher Empfindsamkeit noch zu vernehmen, 24,000 Schwingungen in Einer Sekunde macht. Der niederste Ton in der Musik ist derjenige, welcher 16½ Schwingungen in der Sekunde macht, und wird mit $\underline{\underline{C}}$ bezeichnet. Die Oktaven davon

$\underline{C}$ machen 33
C „ 66
c „ 132
$\bar{c}$ „ 264
$\bar{\bar{c}}$ „ 528 Schwingungen

in Einer Sekunde.



Mehrere Insektengattungen bringen durch Bewegung, Schwingen ihrer Flügel Schallwellen hervor, wie die Grillen, Käfer. Die in der Erde und im Wasser lebenden Thiere sind stumm. Die auf der Erde und in der Luft sich bewegenden Thiere, Amphibien, Vögel und Säugethiere geben durch Blasen und Pfeifen, Ausstoßen oder Einsaugen von Luft mittels ihres Mundes, und durch ihre Stimme mittels des Kehlkopfes Töne von sich. Der menschliche Kehlkopf ist so organisirt, daß er die größte Tonleiter hervorbringen kann, — kleine jugendliche Kehlköpfe vermögen höhere, — größere, ältere Kehlköpfe tiefere Töne hervorzubringen. Durch die Stimmritze des Kehlkopfes wird die Luft aus den Luftröhren gepreßt, wie in einer Orgelpfeife, und die verschiedenen Muskeln desselben sind die verschiedenen Abstufungen von Schwingung in der ausgestoßenen Luft hervorzubringen im Stande.

VI.

Von dem Licht.

Wenn wir einen mehr oder minder starken Druck längere oder kürzere Zeit auf unser geschlossenes Auge ausüben, oder dieses zufällig einen Druck oder Stoß erleidet, so nehmen wir in ihm Erscheinungen von Licht und Farben, die sogenannten subjectiven Sehebilder, wahr. Je rascher und stärker (freilich bis zu einem gewissen Grad) wir den Druck auf das Auge ausüben, desto stärker, d. i. heller, weißer ist die Lichterscheinung. Aus diesem einfachen, von jedermann und jederzeit leicht ausführbaren Experimente können wir den Schluß ziehen, daß die Empfindung von Licht und Farbe die Wirkung einer (mechanischen) Bewegung auf das Empfindungsorgan unseres Auges, die Nervenhaut, ist. Da das Sehen nur in der Empfindung der Lichtstrahlen, welche ein Gegenstand auf unser Auge wirft, besteht, und nur durch die von dem Gegenstand auf unser Auge geworfenen oder zurückgeworfenen Lichtstrahlen wir die Körper sehen können, — so läßt sich weiter folgern, daß

die Erzeugung von Licht, das Ausstrahlen von Licht eines Körpers in einer von dem lichtstrahlenden Körper auf unser Auge gehenden Stoßbewegung besteht. Licht ist demnach eine von dem leuchtenden Körper ausgehende oder stoßende Bewegung, — und weil (nach unserer früheren Erklärung) die Ursache einer abstoßenden Bewegung nothwendig in einer Ausdehnung des die Bewegung veranlassenden Körpers liegt, so muß die Lichterzeugung — Lichtausstrahlung — entweder in einer Ausdehnung eines, des leuchtenden, Körpers bestehen, oder mit der Leuchtkraft eine Ausdehnung des leuchtenden Körpers verbunden seyn, so zwar, daß die Wirkung, welche ein leuchtender Körper auf unser Auge ausübt, in der Ausdehnung jenes ihren Grund hat. Nach diesen Begriffen ist die Lichterzeugung der Schwere oder Cohäsion, die leuchtende Kraft der Erdanziehungs- und der Cohäsionskraft entgegengesetzt, — Licht die Wirkung eines sich ausdehnenden Körpers, eine abstoßende Bewegung, — Schwere und Cohäsion die Wirkung eines sich zusammenziehenden Körpers, eine anziehende Bewegung. Sowie die Schwere und die Cohäsion nicht die Wirkung der Anziehungskraft einer Körpermasse als Ganzen, sondern ihrer kleinsten Theile, aus denen sie besteht, ist, so muß auch das Licht die Wirkung nicht der Ausdehnung einer Körpermasse als Ganzen, sondern ihrer kleinsten Theile, der Atome seyn.

Anmerkung. Newton hat zur Erklärung der Lichterscheinungen einen eigenen Lichtstoff angenommen, den alle leuchtenden Körper nach allen Seiten hin aussenden, — daher wird seine Theorie die Emanations- oder Emmissionstheorie genannt. Huyghens und beziehungsweise Young haben das Wesen der Lichterscheinung in vibrirende oder undulirende Bewegung gesetzt, und hiezu einen unwägbaren Stoff, den Lichtäther angenommen, der alle Körper durchdrungen hat und bei Lichterscheinungen in undulirende Bewegung gesetzt werde, Schwingungen mache, ähnlich den Schallwellen. Diese, die Vibrationstheorie wurde insbesondere von Fresnel im höchsten Grade ausgebildet. Nach unserer Auffassung ist weder die Annahme eines eigenen Lichtstoffes, noch eines eigenen unwägbaren Stoffes, des Aethers, der das Licht durch seine Schwingungen erzeugt und fortpflanzt, nöthig, sondern es genüget, um die Lichterscheinungen zu erklären, die möglichen Bewegungen der kleinsten Theile der wägbaren Stoffe ins Auge zu fassen, dem wägbaren Stoff, von dessen Daseyn wir überzeugt sind, die Fähigkeit des Leuchtens und Lichtfortleitens übertragen zu denken.

Leuchten der Körper. Wir wissen aus der Erfahrung, daß ein Körper leuchtet, wenn seine Theilchen mehr oder weniger rasch mit andern Körpertheilchen in chemische Verbindung treten. Dieß ist z. B. bei der Flamme der Fall. Flamme ist ein brennendes Gas. Brennen nennt man die chemische Verbindung eines Körperstoffes mit Sauerstoff. In der Flamme verbrennt Wasserstoff, oder das Leuchtgas, Wasserstoff und Kohlenstoff, — sie verbinden sich chemisch mit Sauerstoff. Die brennbaren Gase werden nämlich durch erhöhte Wärme, die Anzündungstemperatur, in erhöhten ausgedehnten Zustand versetzt, und verbinden sich in diesem Zustande mit dem Sauerstoff der Luft. Wird aber durch die Anzündungstemperatur das Wasserstoffgas, bezüglich die Wasserstoffatome in Ausdehnung versetzt, so tritt, nach unseren früheren Auseinandersetzungen, in Folge derselben eine Raumbeschränkung und nothwendig gewordene Zusammenziehung der Sauerstoffatome ein. In dem Zustande der Ausdehnung des Wasserstoffes und dem Zustande der Zusammenziehung des Sauerstoffes wird der Wasserstoff von dem Sauerstoff angezogen, es findet die chemische Anziehung, Affinitätskraft, statt, — Wasserstoff wird mit Sauerstoff verbunden. Durch die Ausdehnung des Wasserstoffes in Folge erhöhter Wärme findet erst die chemische Verbindung mit Sauerstoff statt, welche beide Gase im sogenannten Knallgas mechanisch gemischt bleiben können, ohne sich mit einander innig, d. i. chemisch zu verbinden, bis dieses durch die Anzündungstemperatur erst möglich wird und die Verbrennung unter Knallen erfolgt.

Läßt man anderseits Wasserstoffgas auf einen in der Luft sich befindlichen Platinschwamm, der bekanntlich die Sauerstoffatome aus der atmosphärischen Luft (welche aus Sauerstoff und Stickstoff besteht) in großer Menge an sich zieht und dieselbe condensirt, verdichtet, sich zusammenziehen macht, so werden durch die vermehrte Zusammenziehung der Sauerstoffatome die Wasserstoffatome in Ausdehnung versetzt, — diese von jenen chemisch angezogen, und also beide Gase mit einander chemisch verbunden, und ohne angezündet worden zu seyn, fängt das Wasserstoffgas zu brennen an. In dem ersten Beispiel wird der Sauerstoff zusammengezogen, weil der Wasserstoff ausgedehnt wird, im zweiten Falle wird der Wasserstoff ausgedehnt, weil der Sauerstoff zusammengezogen wurde. Im ersten Fall wird der Wasserstoff durch Wärme in Ausdehnung versetzt, — durch Wärme werden ja alle Körper ausgedehnt. Im zweiten Fall

wird der Sauerstoff zusammengezogen, weil Platinschwamm oder Platinpulver den Sauerstoff in seiner Nähe verdichtet. Die Folge aber des Ausdehnens des Wasserstoffes, nämlich: die Zusammenziehung des Sauerstoffes, dort, — und die Folge des Zusammenziehens, nämlich: das Ausdehnen des Wasserstoffes, hier — findet ihren Grund in dem Gesetz: „Der Raum, den ein Körper einnimmt, kann nicht zu gleicher Zeit von einem andern eingenommen werden.“

Daß nicht das Verbrennen selbst, d. i. die chemische Verbindung des Wasserstoffes mit dem Sauerstoffe zu Wasser, die Ursache des Leuchtens ist, beweiset der Umstand, daß da, wo die Flamme wärmt oder brennt, an ihrem Rande nämlich, nicht leuchtet, — und da, wo sie leuchtet, in der Mitte des Flammenkegels nicht brennt. Denn ein Blättchen Papier z. B. verbrennt nicht innerhalb des Flammenkegels, — und ein quer durch die Flamme gelegter Metalldraht glüht nicht in der Mitte der Flamme, sondern nur an den äußern Rändern der Flamme.

Wird äußerst feines Eisenpulver in der atmosphärischen Luft zerstreuet, so entzündet sich dasselbe, verbindet sich mit dem Sauerstoff der Luft, verbrennt. Bei diesem Verbrennen glühen und leuchten die einzelnen Pulverkörnchen. Wird regulinisches Eisen durch Wärmeerzeugung erhitzet, und also in ausgedehnteren Zustand versetzet, aber ohne dabei zu verbrennen, so wird es roth, und bei höherem Hitzegrad weißglühend, — es leuchtet. Erkaltet das schmelzende Eisen wieder, so wird es, anfangs weiß, allmälig roth und zuletzt wieder schwarz, — leuchtet also, nachdem es sich zusammengezogen hat, nicht mehr. Ein Beweis, daß nicht das Verbrennen das Leuchten eines Körpers bedingt, sondern nur die damit verbundene Ausdehnung oder eine erhöhte Ausdehnung eines Körpers, bezüglich seiner kleinsten Theilchen.

Lichtleitung. Durch das Verbrennen, d. i. die Vereinigung von Wasserstoff- oder Kohlenstoffatomen mit Sauerstoffatomen entsteht leerer Raum, weil die zu Wasser- oder Kohlensäureatomen sich mit Sauerstoffatomen verbindenden Wasserstoff- oder Kohlenstoffatome einen viel größeren Raum einnehmen vor ihrer Verbindung als nach ihrer Verbindung. Denn ein Volumen Wasser z. B. besteht aus 2 Volumen Wasserstoff und 1 Volumen Sauerstoff. Die äußere Grenze einer Flamme irgend eines brennenden Körpers ist daher ein Ort der Anziehung. Die Wirkung der hier stattfindenden Anziehung nach außen der Flammengrenze ist

Wärmeerzeugung, d. i. die außerhalb der Flamme sich befindenden Atome, welche nicht zur Verbrennung beitragen, werden ausgedehnt. Die Wirkung der Anziehung nach innen der Flammengrenze ist die Ausdehnung des Wasserstoffes oder Kohlenstoffes, und zwar ist die Wirkung nach innen eine intensivere, weil der Wirkungskreis bei derselben Kraft ein beschränkterer ist, — die Ausdehnung der Atome des verbrennenden Körpers, des Wasserstoffes und Kohlenstoffes ist daher eine größere, und in dieser größeren Ausdehnung besteht das Leuchten des Wasserstoffes und Kohlenstoffes. Diese lichthervorbringende Ausdehnung eines Leuchtgases bewirkt nach außen der Flammengrenze eine Abstoßung. Da eine Flammenmasse aus vielen sich ausdehnenden Wasserstoff- oder Kohlenstoffatomen besteht, und diese alle sich nach einander, freilich in bis jetzt nicht meßbaren Zwischenzeiträumen, successive ausdehnen, so erfolgt auch die durch die Ausdehnung bedungene Abstoßung in Zwischenräumen, in successiven, in auf einander folgenden, intermittirenden Stößen. Für jene Atome der Umgebung, welche sich nicht zusammenziehen, tritt durch die an sie gelangten Stöße die Nothwendigkeit ein, von ihrer Stelle zu weichen, und, sobald der Stoß aufhört, aussetzt, wieder an ihre alte Stelle zurückzukehren. Diejenigen Atome, welche durch die sich ausdehnenden Atome einer Flamme die Stöße erlitten und in eine schwankende Bewegung geriethen, nämlich von ihrer Stelle zu weichen und wieder zu dieser zurückzukehren, zwingen aber ebenfalls, wie die Wasserwellen oder Luftwellen, die zunächst ihnen anliegenden sich nicht zusammenziehenden Atome von ihrer Stelle zu weichen, und gestatten ihnen, wenn sie an ihre vorige Stelle zurückkehren, ebenfalls, daß auch die zweiten wieder an ihre entsprechende Stelle zurückkehren. Diese schwankende Bewegung pflanzt sich nun von Atom zu Atom fort, bis sie an Atome gelangt, die nicht von der Stelle weichen. Atome, welche durch die Ausdehnungsbewegung eines leuchtenden Körpers von der Stelle weichen, in schwankende, wie man sagen kann, vibrirende, erzitternde Bewegung gerathen, leiten den von den sich ausdehnenden Atomen eines leuchtenden Körpers erlittenen Stoß fort. Gelangen diese intermittirenden Stöße, diese Atomenvibrationsbewegung, zu der Empfindungs-Nervenhaut unseres Auges, so entsteht durch diesen intermittirenden Stoß in uns die Empfindung von Licht. Wir können nun sagen, die Lichtempfindung besteht in der Empfindung von Stößen vibrirender, schwingender Atome, während die Schallempfindung in der

Empfindung der Stöße kleiner schwingender Luftmengen, kleiner Luftwellen, der Schallwellen durch unsern Gehörnerven besteht. Das Sehen besteht in der Empfindung von Stößen einzelner schwingender Atome, das Hören in der Empfindung von Stößen schwingender Atomenmengen, mehrerer Atome zugleich, welche als Schwingungskörper ein Ganzes bilden.

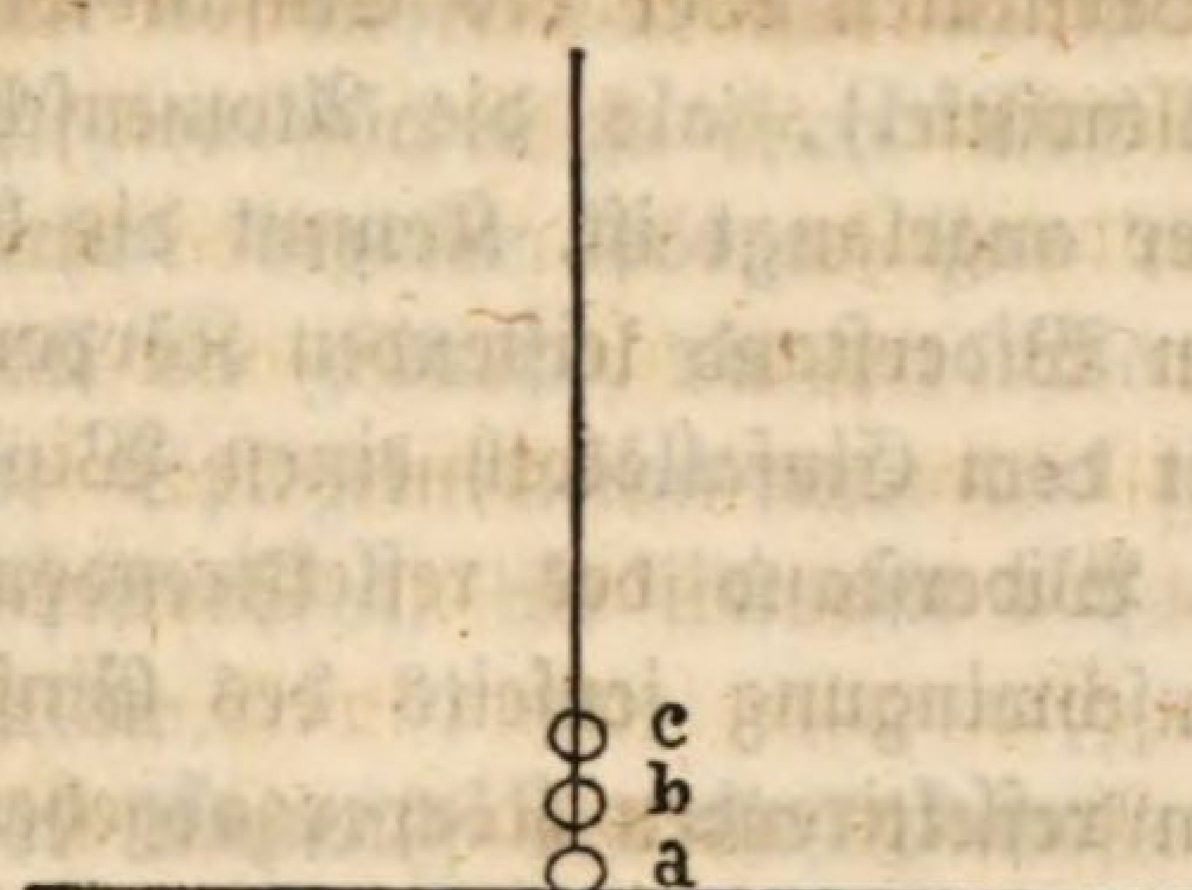
Körper, deren Atome einzeln sich in schwingende Bewegung versetzen lassen, leiten daher die Lichtbewegung fort. Diese Eigenschaft besitzen vor allen am meisten die Luftarten, die Gase. Ihnen zunächst kommen die tropfbaren Flüssigkeiten, und dann die erstarrten Flüssigkeiten, als Eis, Krystalle, die Glase. Man nennt sie die durchsichtigen Körper. Alle Körper, deren Atome sich nicht einzeln in Schwingung versetzen lassen, leiten das Licht nicht durch sich fort, — sie heißen undurchsichtige Körper. Werden indeß die undurchsichtigen Körper in so dünne Platten geschnitten, daß zwischen ihnen leere (von Luft erfüllte) Zwischenräume sich befinden, so wird die vibrirende Lichtbewegung durch die Zwischenräume hindurch ermöglicht, und solche Körper, d. i. Blätter oder dünne Plättchen derselben heißen durchscheinende Körper.

Lichtleitungsfähigkeit. Die größere oder geringere Fähigkeit eines Atomes, die von einem leuchtenden Körper ausgehende Schwungbewegung fortzupflanzen, ist abhängig von der geringeren oder größeren Stärke, mit welcher das vibrirende Atom von einer andern Bewegungskraft, z. B. der Schwerkraft oder Cohäsionskraft in Anspruch genommen ist. Je geringer eines Atomes Zusammenziehungskraft, auf welcher, wie wir wissen, die Schwer- und Cohäsionskraft der Atome beruht, ist, desto leichter wird es von dem Stoß eines sich ausdehnenden Atomes eines leuchtenden Körpers in Bewegung gesetzt werden, und desto leichter wieder in seinen alten Platz zurückkehren. Je größer aber die Zusammenziehungskraft eines Atomes und die auf ihr beruhende Schwer- und Cohäsionskraft ist, desto schwerer wird ein leuchtender Körper es in schwingende Bewegung setzen. Je ausgedehnter und je weniger zusammengezogen daher die Atome sind, desto leichter pflanzen diese die Lichtbewegung fort, und je mehr zusammengezogen die Atome eines Körpers sind, desto weniger pflanzen sie die Lichtbewegung fort. Durch die Zusammenziehungs- und die auf ihr beruhende Cohäsionskraft sind die Atome im Stande, einem von der Ausdehnung der Atome leuchtender Körper herrührenden Stoße Widerstand zu leisten. Aus je zu-

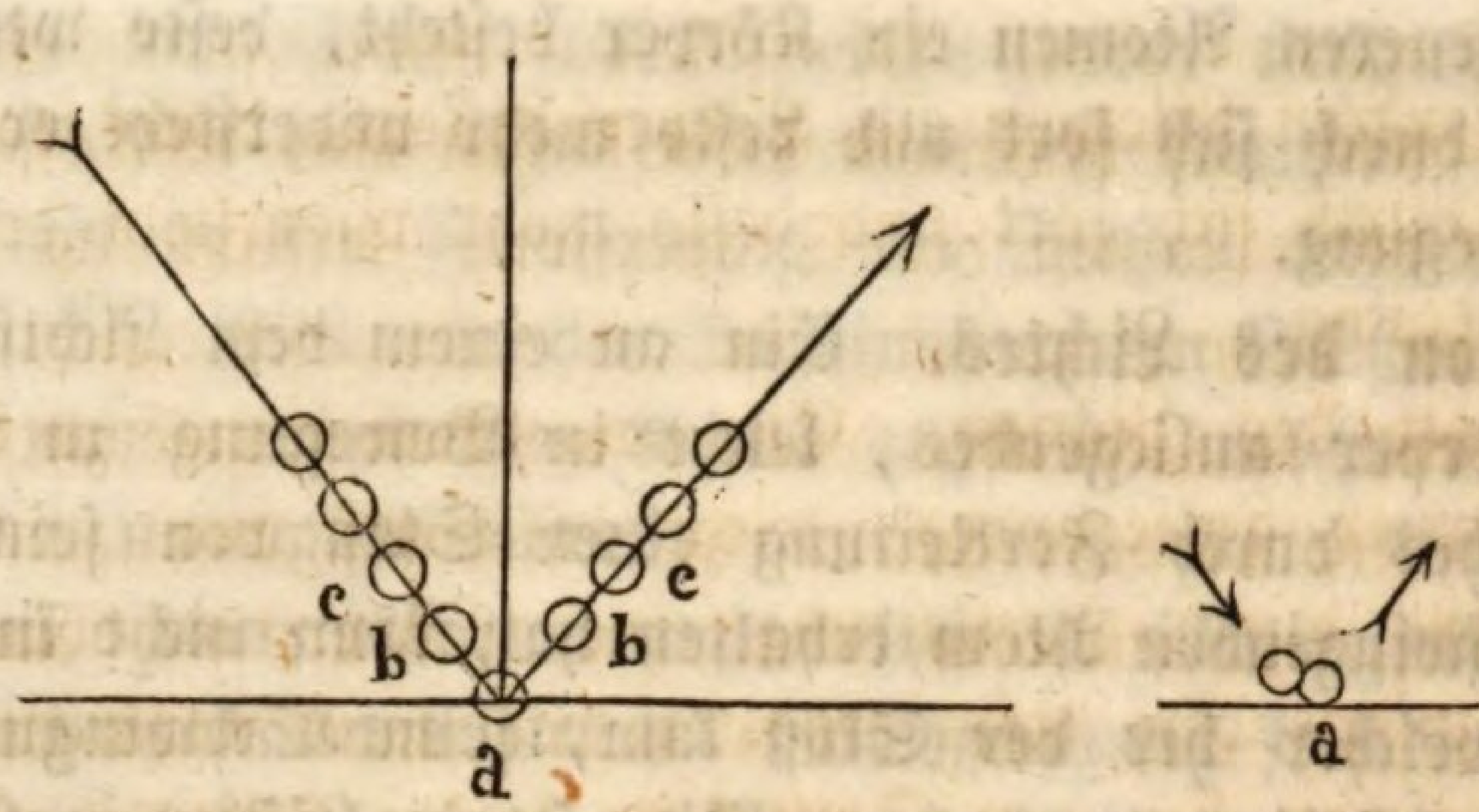
sammengezogeneren Atomen ein Körper besteht, desto weniger leitet er das Licht durch sich fort und desto mehr widersteht er dem Stoß der Lichtbewegung.

Reflexion des Lichtes. Ein an einem dem Lichtstoß widerstehenden Körper anliegendes, leicht in Bewegung zu versetzendes Atom, welches durch Fortleitung einen Stoß von seinem nächstgelegenen schwingenden Atom erhalten hat, kann nicht in der Richtung, von welcher her der Stoß kam, seine Schwingung machen, sondern ist genöthigt, von dem Widerstand leistenden Körper hinweg sich zu bewegen. Diese Abweichung der Fortpflanzung der Atomenvibration heißt das Zurückwerfen des Lichtes, das Reflektirtwerden des Lichtes. Vermöge dieser Lichtschwingungen, welche von den das Licht nicht durch sich leitenden Körpern reflektirt werden, sehen und erkennen wir die Gestaltungen der Körper.

Das an dem reflektirenden Körper anliegende Atom wird in einer Richtung seine Schwingung machen, welche der Richtung der Schwingungen des Atomes, von dem es den fortgepflanzten Stoß erlitten, entsprechend entgegengesetzt ist. Fällt z. B. die Schwingungsebene der lichtleitenden Atome mit der lothrechten Linie, welche man sich auf die Ebene eines reflektirenden Körpers gezogen denkt,



zusammen, so wird das an diesem anliegende bewegliche Atom a durch den fortgepflanzten Stoß an den reflektirenden Körper angedrückt, und bei dem Rückschlag, der Zurückkehr des den Stoß fortgeleitet habenden Atomes b wird das zusammengedrückte Atom a wieder seinen vorigen Platz ausfüllen, d. h. sich ausdehnen. Die Schwingung eines solchen an den reflektirenden Körper lothrecht angedrückten Atomes a besteht in abwechselnder Zusammenziehung und Ausdehnung, während das Atom b bei unverändertem Volumen von einer Stelle zur andern sich beweget, hin und her sich schwingt. Wird aber das an dem reflektirenden Körper anliegende



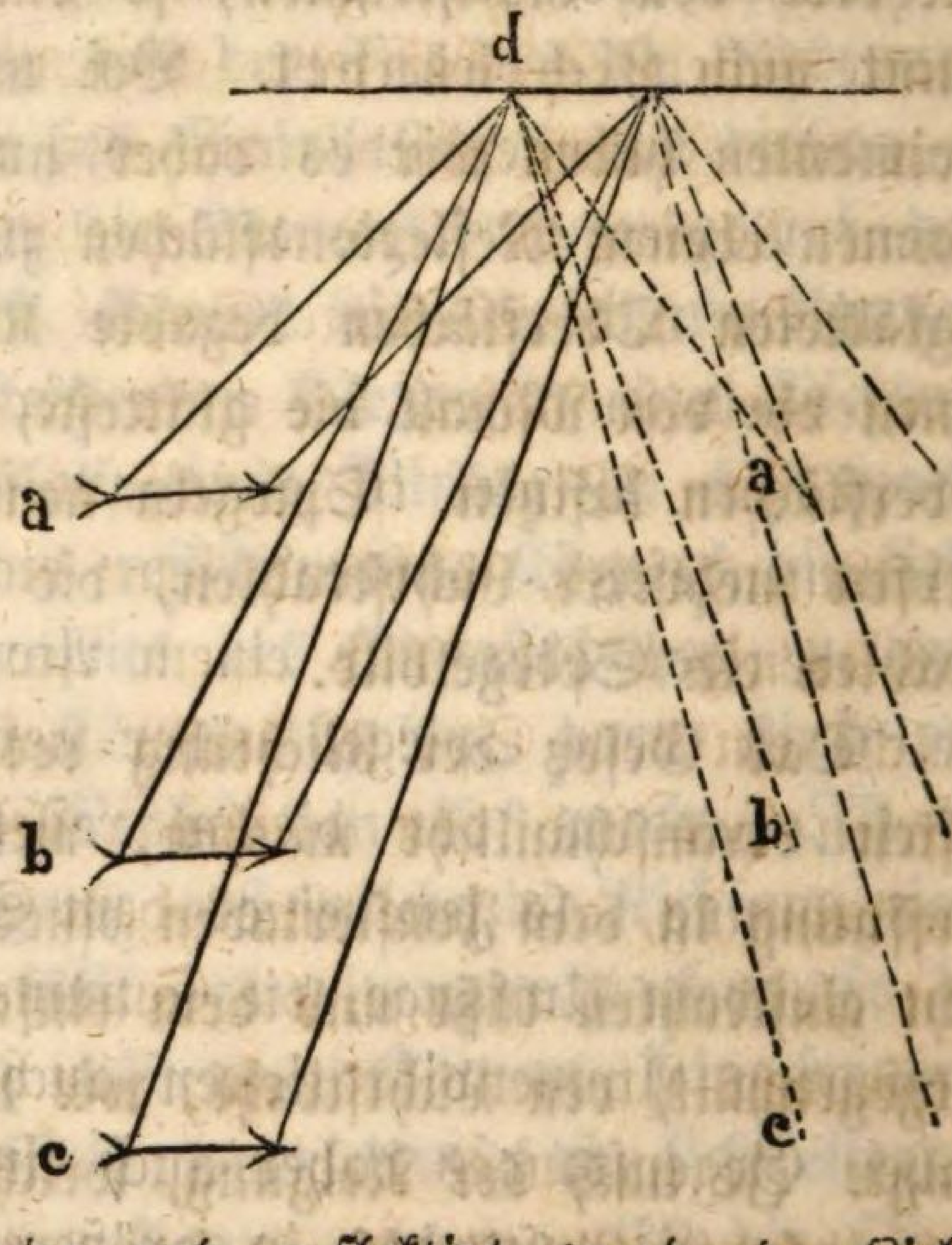
Atom a von einer andern als der vertikalen Richtung her angestoßen, so wird es in dem Maaße, als es von der einen Seite angestoßen, wie eine Billardkugel, nach der andern Seite ausweichen, oder mit andern Worten: wenn man sich eine lothrechte Linie auf den Punkt der Ebene des reflektirenden Körpers, in dem das angestoßene Atom liegt, gezogen denkt, — die freibeweglichen und lichtleitenden Atome werden die Stoßbewegung und die hiedurch veranlaßten Schwingungen in einer Richtung von dem reflektirenden Körper hinweg fortpflanzen, deren Linie mit der lothrechten Linie, dem Einfallslothe, einen ebenso großen Winkel (Reflexionswinkel) jenseits des Einfallslothes macht, wie der ist, den die Richtungslinie diesseits der Vertikalen oder des Einfallslothes mit diesem gemacht hat (Einfallswinkel), als die Atomenschwingung auf dem reflektirenden Körper angelangt ist. Kommt die lichtleitende Atomenschwingung auf den Widerstand leistenden Körper in einer Richtung an, deren Linie mit dem Einfallsloth einen Winkel von 45° macht, so wird durch den Widerstand des reflektirenden Körpers die lichtfortleitende Atomenschwingung jenseits des Einfallslothes in einer Richtung von dem reflektirenden Körper abgehen, deren Linie mit dem Einfallsloth ebenfalls einen Winkel von 45° macht. Ist die Oberfläche des reflektirenden Körpers, auf welche die Richtung einer lichtleitenden Atomenschwingung fällt, ganz wagerecht eben, so besteht von Seite des Widerstand leistenden Körpers kein ferneres Hinderniß mehr, damit in der Reflexionsrichtung die lichtleitenden Atomenschwingungen weiters fortgepflanzt werden. Ist die Oberfläche des reflektirenden Körpers aber nicht ganz eben und glatt, so bieten, je nach der dem Einfallslothe mehr oder weniger sich nähernden Richtung der anlangenden Atomenschwingungen, die Unebenheiten der Oberfläche des reflektirenden Körpers ebenfalls einen Lichtleitungswiderstand, eine neue Reflexionsursache dar. Die Licht-

reflexion auf ganz ebenen Oberflächen nennt man eine regelmäßige, — jene auf unebenen Oberflächen eine unregelmäßige. Letztere, mit dem Namen der Dispersion, Zerstreuung des Lichtes belegt, ist eine Summe zweier oder mehrerer Lichtreflexionen, während erstere eine einfache ist. Gäbe es vollkommen ebene Oberflächen der reflektirenden Körper, so würde unser Auge an denselben die Stelle der Reflexion nicht wahrnehmen, sondern es würde nur die von dieser Stelle aus abgeleitete lichtleitende Atomenschwingung, welche dem Sehenerven einen Anstoß geben, d. h. nur das schon reflektirte Licht, von uns empfunden werden. Da es aber keine vollkommen ebene Oberflächen an reflektirenden Körpern gibt, so gibt es auch keine vollkommen regelmäßige Lichtreflexion, welche nicht mit Zerstreuung, vervielfachter Reflexion, verbunden wäre. Ebensowenig ist es uns möglich, den Stoß nur eines einzigen lichtleitenden vibrirenden Atomes zu unterscheiden, immer ist es eine Anzahl von vibrirenden Atomen, deren Stöße unser Sehenerve empfindet. Das, was wir einen Lichtstrahl nennen, ist eine Summe von gleichzeitig und neben einander schwingenden Atomen. Mehrere von Lichtstrahlen, so dünn wir sie wahrnehmen können, nennt man Lichtbündel. Bei unsern Wahrnehmungen und Experimenten haben wir es daher nur mit Lichtstrahlen und unvollkommen ebenen Reflexionsflächen zu thun. Mit so viel als möglich geglätteten Oberflächen begabte Körper sind die Spiegel, von denen die von Metall die glätteste, die von Glas die weniger glatten Oberflächen besitzen. Spiegeln nennt man das gleichzeitige Zurückwerfen mehrerer Lichtstrahlen, die Summe dieser reflektirten Lichtstrahlen ein Spiegelbild.

Das Gesetz der Richtung des Reflexionsstrahles läßt sich am besten veranschaulicht machen, wenn man durch eine sehr kleine Oeffnung in dem Fensterladen eines finstern Zimmers das Sonnenlicht einstrahlen läßt und dem einfallenden Lichtstrahl einen Spiegel entgegenhält, den Lichtstrahl, wie man zu sagen pflegt, damit auffängt. Je nach der Neigung, welche man dem Spiegel in Beziehung auf den Lichtstrahl gegeben hat, wird man auf der dem Spiegel entgegenstehenden Wand das Bild des Lichtstrahles, von dem Spiegel zurückgeworfen, wahrnehmen können.

Auf dieselbe Weise, wie Ein Strahl von Licht, der auf die spiegelnde Oberfläche eines reflektirenden Körpers fällt, von diesem zurückgeworfen wird, so daß der Einfallswinkel, wie man sagt, dem

Reflexionswinkel gleich ist, — so werden auch mehrere Lichtstrahlen, seyen diese nun unmittelbar von einer Lichtquelle, der Sonne oder einer irdischen Flamme, ausgehend, oder nur wieder die von einem das Licht nicht durch sich fortleitenden Körper reflektirten Lichtstrahlen, von einer spiegelnden Oberfläche zurückgeworfen, d. i. unter dem Winkel sie auf einem Spiegel auffallen, unter einem gleichen werden sie wieder reflektirt. Ein Spiegel gibt also von einem Gegenstand unter einem Reflexionswinkel die auf ihn geworfenen Lichtstrahlen als Bild wieder, der gleich ist dem Winkel, unter welchem sie von dem Gegenstand auf den Spiegel geworfen wurden. Auf diesem Gesetz der Gleichheit der Größe des Reflexionswinkels mit der Größe des Einfallswinkels beruht auch die Gleichheit der Entfernung eines Spiegelbildes hinter dem Spiegel mit der Entfernung des abgespiegelten Gegenstandes vor dem Spiegel. Denn von mehreren in Einer auf die Spiegelfläche oder deren Verlängerung fallenden Vertikale befindlichen leuchtenden Punkten oder lichtreflektirenden Gegenständen werden auf ein und denselben Punkt der Spiegelfläche die Lichtstrahlen in verschieden großen Einfallswinkeln geworfen und daher auch in eben so verschieden großen Reflexionswinkeln zurückgeworfen, — und zwar sind die Einfalls- und Reflexionswinkel der entfernteren leuchtenden Punkte und Gegenstände kleiner, die der näheren größer. Ein Gegenstand aber, den wir in der Nähe sehen, scheint uns größer, als derselbe Gegenstand bei gleich großem Umfang in der Entfernung. Der Grund aber, warum auf eine spiegelnde Fläche unter

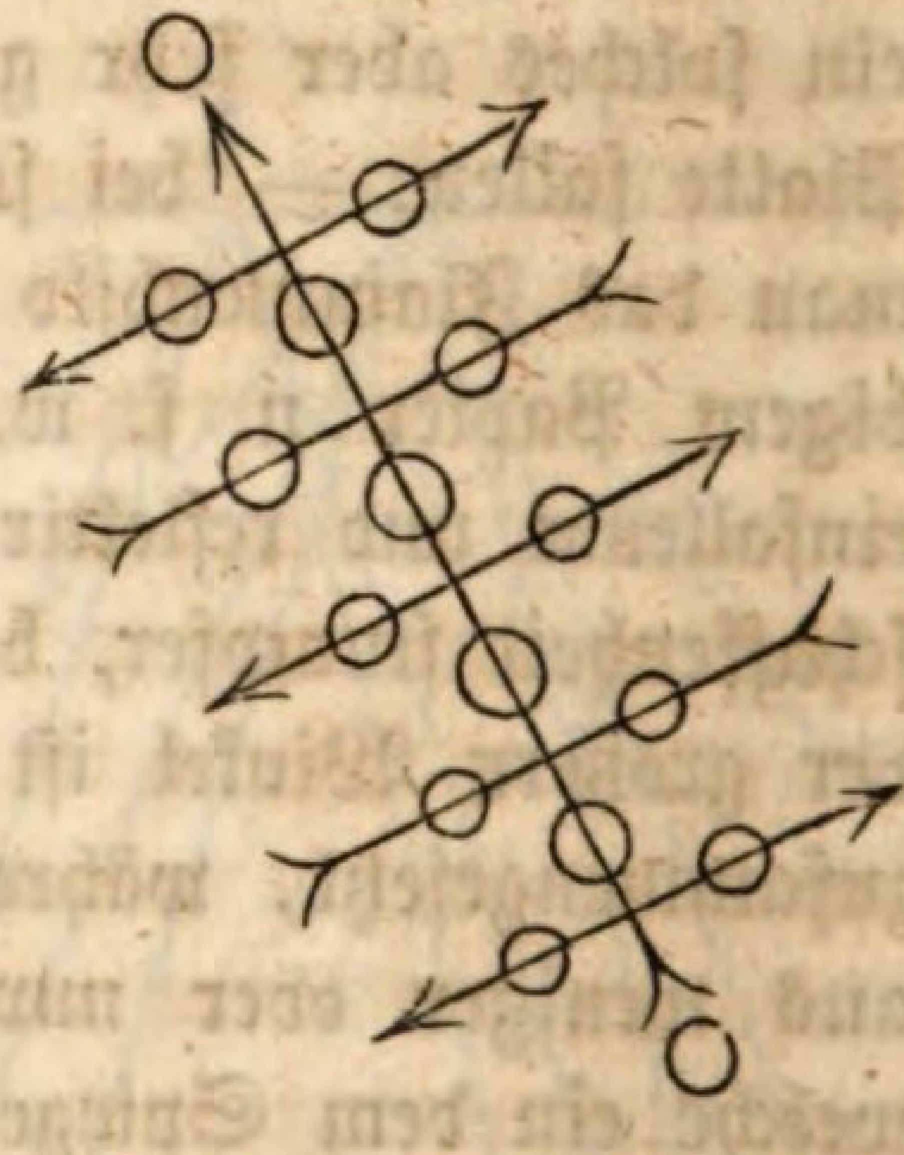


einem größeren Winkel einfallende und reflektirt werdende Lichtstrahlen unserem Auge größer erscheinen, als unter einem kleineren Winkel, ist der, daß dasjenige freibewegliche lichtleitende Atom, ein Luftatom nämlich, welches auf dem Widerstand leistenden reflektirenden Körper liegt, nach dem von seinem nachbarlichen schwingenden Luftatom erlittenen Stoß, während es bei senkrecht auf-

fallendem Lichtstrahl blos abwechselnd sich zusammenzieht und sich ausdehnt, bei einem größeren Einfallswinkel auch einen seitlichen Druck auf sein nachbarlich in gleicher Ebene auf dem Reflexionskörper anliegendes Luftatom ausübt, in Folge dessen auch dieses auf ein drittes oder viertes aufliegendes Luftatom einen obwohl weniger wagerechten und immer mehr von der Körpersebene abgehenden Druck ausübt, bis endlich die Luftatomenvibration eine dem Einfallsstrahl entsprechende Richtung jenseits des Einfallslothes eingeschlagen hat. Je schiefer und also je größer der Einfallswinkel eines Lichtstrahles ist, desto mehr an dem reflektirenden Körper anliegende lichtleitende Luftatome werden in Bewegung gesetzt, welche mittels ihrer über und neben anliegenden Luftatome die Vibration bis zu unserem Auge fortpflanzen. Daher die Erfahrung, daß die Intensität des regelmäßig reflektirten Lichtes mit dem Einfallswinkel wächst, und bei rechtwinkeligem Auffallen am geringsten ist. Wenn die von einer Kerzenflamme ausgehenden Strahlen nahe rechtwinkelig auf eine matt geschliffene Glastafel fallen, so kann man kein deutliches Bild der Flamme unterscheiden, — man sieht ein solches aber sehr gut, wenn die Strahlen sehr schief auf die Platte fallen; — bei sehr schiefem oder großem Einfallswinkel kann man das Flammenbild auch auf polirtem Holze, glänzendem farbigem Papier u. s. w. wahrnehmen. Der Winkel, welchen der einfallende und reflektirte Strahl machen, ist bei einer größern Beschaffenheit stumpfer, bei einer geringern Größe spitzer. Die Spitze der größern Winkel ist gleichsam stumpfer, aus mehreren Atomen zusammengesetzt, während jene eines kleineren Winkels spitzer ist, aus weniger oder nur einem Atom besteht. Die Strahlen nun, welche ein dem Spiegel näher gestellter Gegenstand auf diesen geworfen hat und von diesem reflektirt werden, sind von größerer Ausdehnung, als jene eines dem Spiegel entfernteren Gegenstandes von gleichem Umfange, die Summe der reflektirten und unser Auge treffenden Atomenvibrationen auch eine größere, das Bild eines nahen Gegenstandes daher auch ein größeres, als das Spiegelbild desselben Gegenstandes in größerer Entfernung von dem Spiegel.

Die Möglichkeit oder vielmehr die Wahrheit, daß bei schiefem Einfallen eines Lichtstrahles auf eine ebene Fläche eines reflektirenden Körpers das von der hergeleiteten Luftatomenvibration berührte an den Widerstand leistenden Körper anliegende Luftatom nicht sogleich in der der Einfallsrichtung entsprechenden winkeligen Richtung

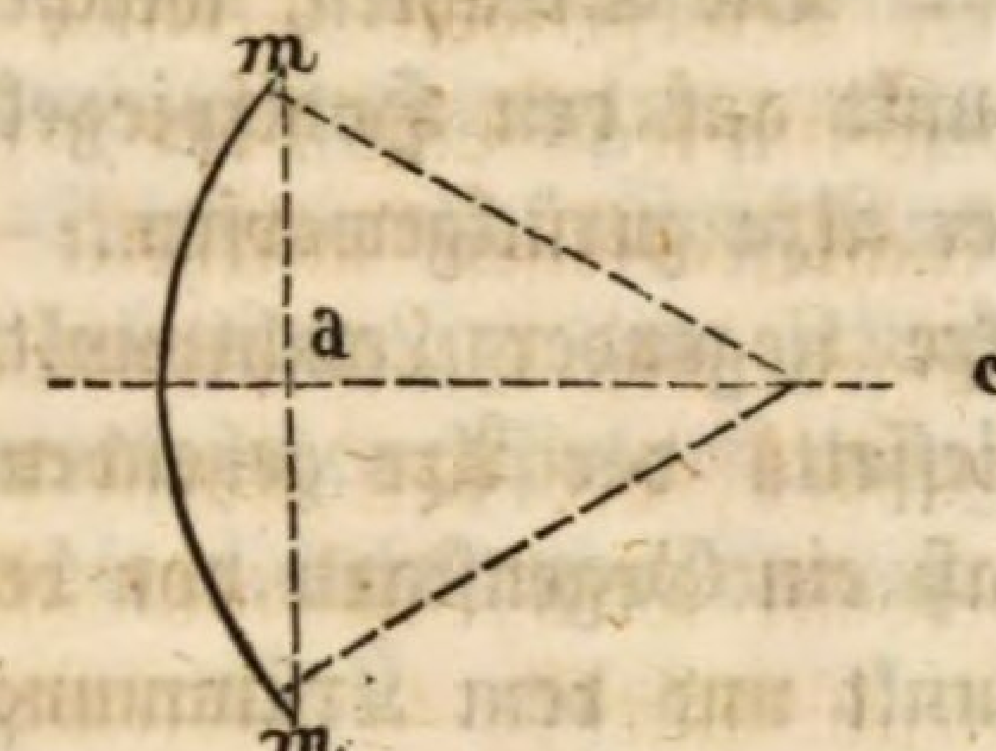
die lichtleitende Vibration bewirkt, sondern noch eine größere oder geringere Anzahl von an dem reflektirenden Körper anliegenden Luftatomen in mehr oder weniger wagerechten oder dieser nahe kommenden Richtung durch Stoß in Schwingung versetzt, erhellt aus dem Umstand, daß ein oder immer das erste schwingende Luftatom nicht nur in Einer Richtung, in der mit dem sichtbaren Lichtstrahl oder Lichtstrahlenbündel zusammenfallenden Richtung, sondern in allen excentrischen Richtungen eines Luft- oder sonstigen frei beweglichen Atomes den empfangenen intermittirenden Stoß den um das eine oder erste schwingende Atom um und anliegenden Nachbaratomen mittheilt. Ein vibrirendes Atom versetzt alle es umgebenden Nachbaratome in Schwingung. Die Kraft aber des Stoßes, der von einem vibrirenden Atom den Nachbaratomen mitgetheilt wird, ist nicht für alle Nachbaratome gleich, sondern ungleich stark, — dasjenige Atom, welches in der Richtung der Schwingung des ersten Atomes den Stoß empfängt, wird am stärksten angestoßen, — seine Schwingung und die Schwingungen, welche es in seiner Schwingungsrichtung fortpflanzt, sind daher die schnellsten, kräftigsten und am weitesten fortwirkend. Die Nachbaratome, welche von dem in Schwingung befindlichen Atom in einer die Schwingungsrichtung dieses quer oder schief durchschneidenden Richtung einen Stoß erleiden, werden mit weniger Kraft in Bewegung versetzt, als die in der Schwingungsrichtung liegenden Atome es wurden. Die Schwingungen, welche jene alsdann fortsetzen, sind daher auch minder schnell und nicht so weit, wie die Schwingungen dieser, fortwirkend. Wir werden später sehen, daß die von jenen fortgepflanzten Schwingungen keinen so starken hellscheinenden, sondern einen minder hellen oder farbigen Eindruck auf den Empfindungsnerven unserer Augen ausüben.



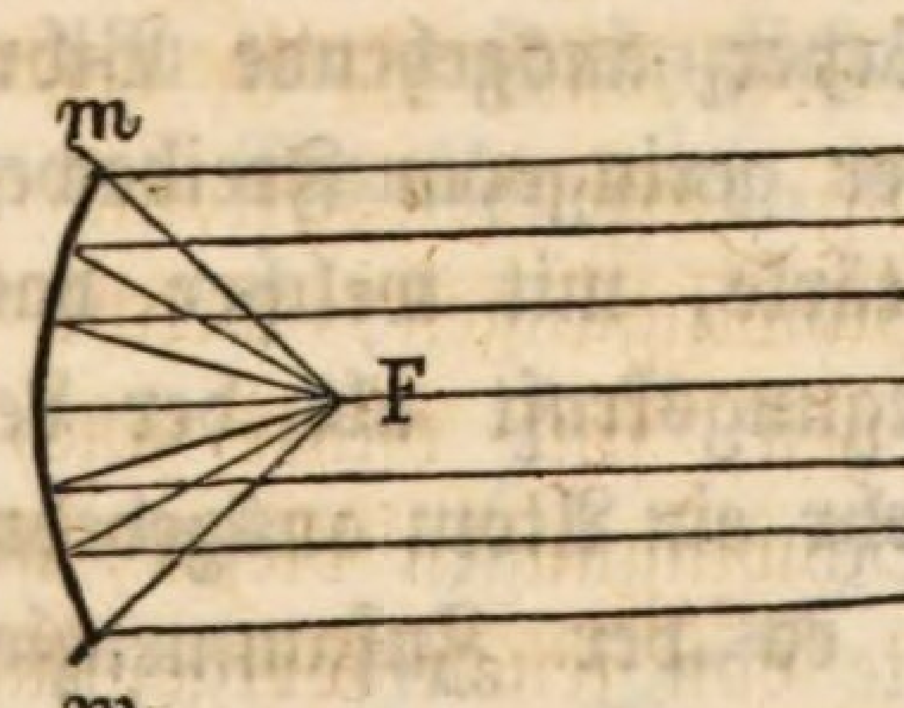
Reflexion auf krummen Flächen. Ein jeder materielle Punkt einer Fläche, also auch einer krummen Fläche verhält sich zu den lichtleitenden vibrirenden Atomen als eine Ebene. Wenn also ein Lichtstrahl eine krumme Oberfläche in irgend einem Punkt trifft, so wird er eben so reflektirt, als ob er die Ebene dieses Punktes, seine Berührungsebene, getroffen hätte. Ein in dem Mittelpunkt

einer innen polirten Kugel befindlicher leuchtender Punkt wird nach allen Punkten der Kugeloberfläche Lichtstrahlen aussenden, welche aber sämmtlich nach dem Mittelpunkt zurückgeworfen werden. Die von dem Mittelpunkte ausgehenden Strahlen treffen jeden Punkt vertikal, und werden ebenso vertikal reflektirt.

Ein Hohlkugelabschnitt ist ein Hohlspiegel, — concav, wenn die innere Fläche der Kugel polirt ist, — convex, wenn die äußere Oberfläche der Kugel polirt ist. Man nennt eine zwei entgegengesetzte Punkte des Hohlspiegelrandes verbindende Linie m m den Durchmesser desselben. Die den Mittelpunkt der Kugel mit der Mitte des Spiegels verbindende Linie c a heißt die Axe des Hohlspiegels, der Winkel endlich, welchen die beiden von den Randenden des Spiegels zu dem Mittelpunkt gehenden Radien c m und c m′ mit einander machen, heißt seine Oeffnung, — und der Mittelpunkt c der Kugel, von welcher der Hohlspiegel ein Abschnitt ist, wird Mittelpunkt der Krümmung genannt.



Der Einfallswinkel eines Lichtstrahles wird nun gebildet von dem einfallenden Lichtstrahl und dem Radius, welchen auf den von dem Lichtstrahl getroffenen Punkt des Hohlspiegels gezogen man sich denkt, — und dem Reflexionswinkel von eben diesem Radius und dem reflektirten Lichtstrahl. Fallen mehrere mit der Axe des Hohlspiegels parallel laufende Strahlen, z. B. Sonnenstrahlen (welche wegen der großen Entfernung der Erde von der Sonne als parallel oder beinahe gänzlich parallel angenommen werden können) zugleich auf den Hohlspiegel ein, so werden sie sämmtlich in einem Punkt der Axe während ihrer Reflexion vereinigt. Diesen Vereinigungspunkt der reflektirten Strahlen heißt man deu Hauptbrennpunkt oder Hauptfocus eines Hohlspiegels. Dieser Hauptfocus liegt in der Mitte zwischen dem Krümmungsmittelpunkt des Spiegels und dem Spiegel selbst auf der Axe der parallelen Strahlen.



Ein leuchtender Punkt in dem Hauptbrennpunkt eines Hohlspiegels sendet von dieser Stelle aus seine Strahlen auf den Spiegel, und von diesem werden sie als parallel mit der Axe auslaufend

reflektirt. Die Strahlen, welche ein zwischen dem Hauptbrennpunkt und dem Hohlspiegel befindlicher Leuchtpunkt auf den Spiegel wirft, werden in mit der Axe des Spiegels divergirender Richtung von diesem reflektirt, — und die Strahlen, welche ein zwischen dem Hauptbrennpunkt und dem Krümmungsmittelpunkt befindlicher Leuchtpunkt auf den Spiegel wirft, werden von dem Spiegel in einer mit der Axe außerhalb des Krümmungsmittelpunktes convergirenden Richtung reflektirt.

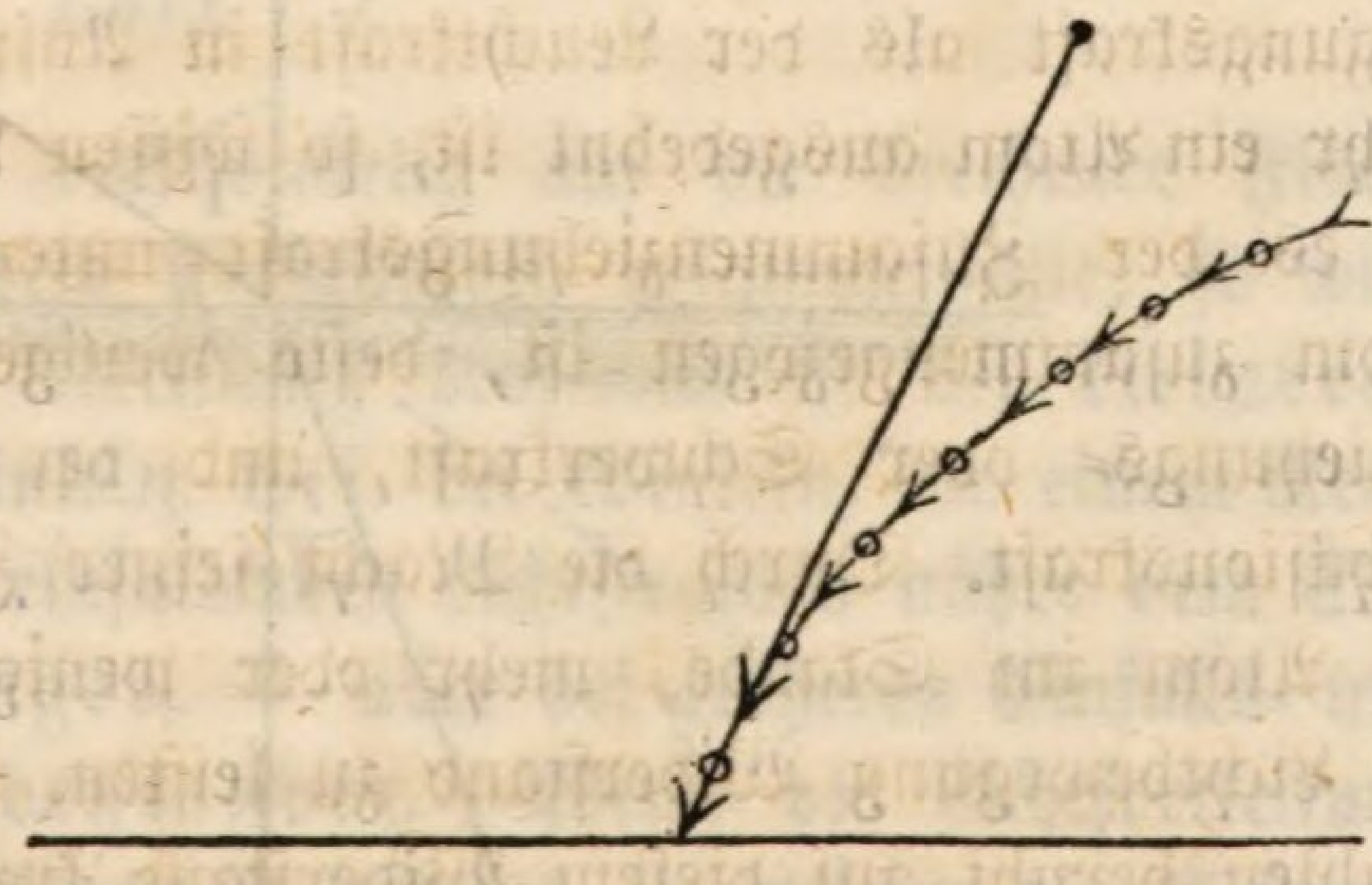
Die Strahlen, welche ein diesseits der Axe befindlicher Leuchtpunkt auf den Hohlspiegel wirft, werden von diesem nach jenseits der Axe zurückgeworfen, — und Strahlen, welche ein jenseits der Axe liegender Leuchtpunkt auf den Hohlspiegel wirft, nach einer diesseits der Axe gehenden Richtung hin reflektirt. So kommt es, daß ein Gegenstand vor dem Hohlspiegel zwischen dem Hauptbrennpunkt und dem Krümmungsmittelpunkt ein verkehrtes vergrößertes Bild außerhalb des Krümmungsmittelpunktes, — und ein Gegenstand außerhalb des Krümmungsmittelpunktes ein verkehrtes verkleinertes Bild erzeugt. Von einem Gegenstand aber, welcher sich vor dem Hohlspiegel zwischen diesem und dem Hauptfocus befindet, wird wegen der Divergenz der reflektirten Strahlen ein aufrechtes vergrößertes Bild zurückgeworfen. Umgekehrt gibt ein Convexspiegel von einem vor ihm befindlichen Gegenstand ein aufrechtes verkleinertes Bild.

Lichtbrechung. Wie oben schon bemerkt, beruht die größere oder geringere Fähigkeit eines Atomes, die von einem leuchtenden Körper ausgehende Vibration fortzupflanzen, auf seiner größeren oder geringeren Freibeweglichkeit, auf der geringeren oder größeren Stärke, mit welcher das vibrirende Atom von einer andern Bewegungskraft als der Leuchtkraft in Anspruch genommen ist. Je mehr ein Atom ausgedehnt ist, so wissen wir ferners, desto weniger ist es der Zusammenziehungskraft unterlegen. Je weniger ein Atom zusammengezogen ist, desto weniger unterliegt es der Erdanziehungs- oder Schwerkraft, und der Atomenanziehungs- oder Cohäsionskraft. Durch die Macht seiner Zusammenziehungskraft ist ein Atom im Stande, mehr oder weniger der äußern Stoßkraft der Lichtbewegung Widerstand zu leisten. Die Reflexion der Lichtstrahlen beruht auf diesem Widerstand kraft der Atomenzusammenziehung. Ein geringerer Grad der Atomenzusammenziehung bedingt ein anderes Maaß der Lichtleitung, die Fähigkeit, die Lichtstrahlen

zu brechen. Fällt nämlich die Richtung der Schwingung der lichtleitenden Atome nicht mit der Richtung der Erdanziehungs- oder der Atomenanziehungskraft zusammen, in welchem Falle die lichtleitende Kraft, die Schwingung der Atome durch die Schwer- oder Cohäsionskraft verstärkt wird, — sondern hat eine der letztgenannten Bewegungskräfte eine andere Richtung als die Lichtstrahlen, so wird die Atomenvibration in der Resultante des von einem leuchtenden Körper hergeleiteten Stoßes und der Schwer- oder Cohäsionskraft stattfinden. Trifft die Schwer- oder die Cohäsionskraft das lichtleitende Atom in einer seine Schwingungsbewegung rechtwinkeligen Richtung, so wird, wenn die Schwer- oder Cohäsionskraft gleich groß ist der Schwingungskraft, letztere in dem getroffenen Atom vernichtet, die Lichtleitung unterbrochen (Polarisation), oder, wenn erstere schwächer als letztere, die lichtleitende Atomenvibration geschwächt.

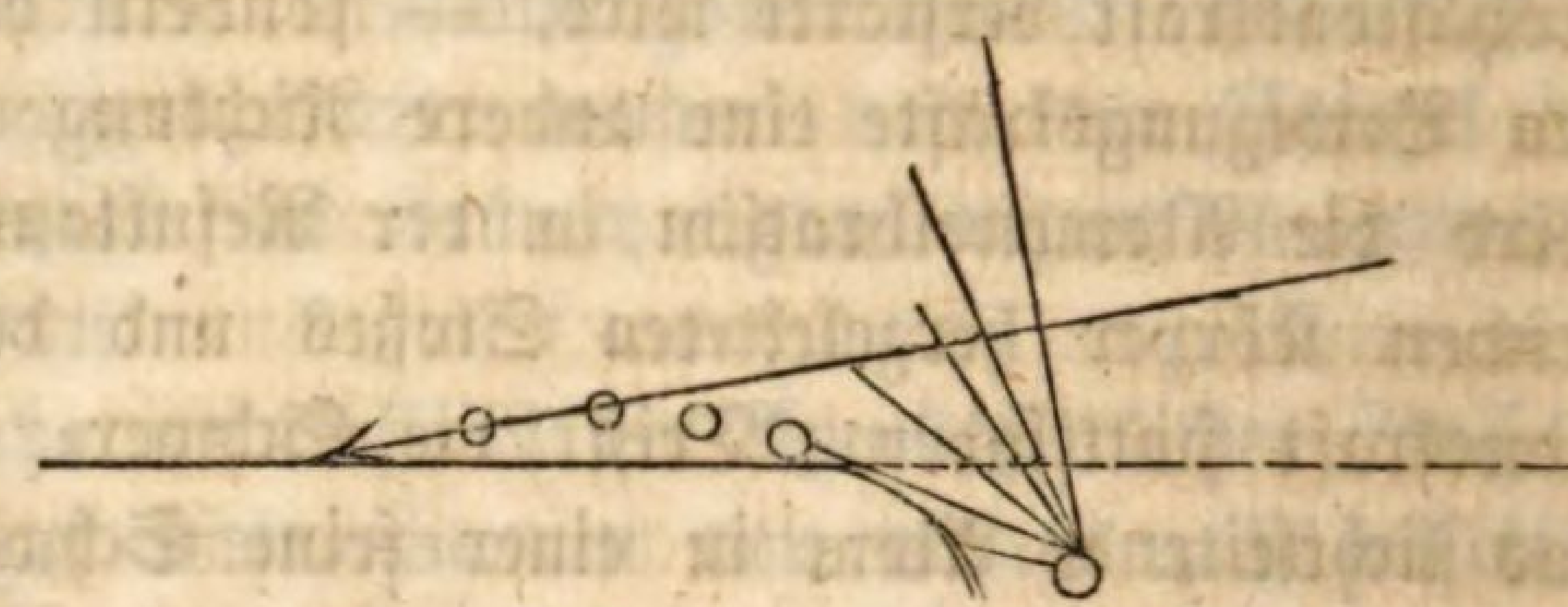
Die Atome aller irdischen Körper verändern die Stärke und die Richtung der lichtleitenden Schwungkraft, in so ferne sie alle der Schwerkraft unterworfen sind, und um so mehr, je mehr sie derselben unterworfen, d. i. je schwerer sie sind. Alle sogenannten durchsichtigen Körper brechen die Lichtstrahlen.

Gase und die Luft leiten das Licht am besten und besitzen das geringste Brechungsvermögen. Ein von der Sonne auf die Erde hergeleiteter Lichtstrahl wird von der atmosphärischen Luft gebrochen, d. h. der Strahl der Sonne, der unser Auge berührt, gelangt nicht in gerader Linie zu uns, sondern er wird, je näher er der Erde kömmt, von der Luft um so mehr gebrochen, von der ursprünglichen geraden Linie abgelenkt, je schwerer sie in der Erdnähe wird, — je mehr die von der Lichtbewegung in Vibration versetzten Luftatome von der Erde angezogen werden.



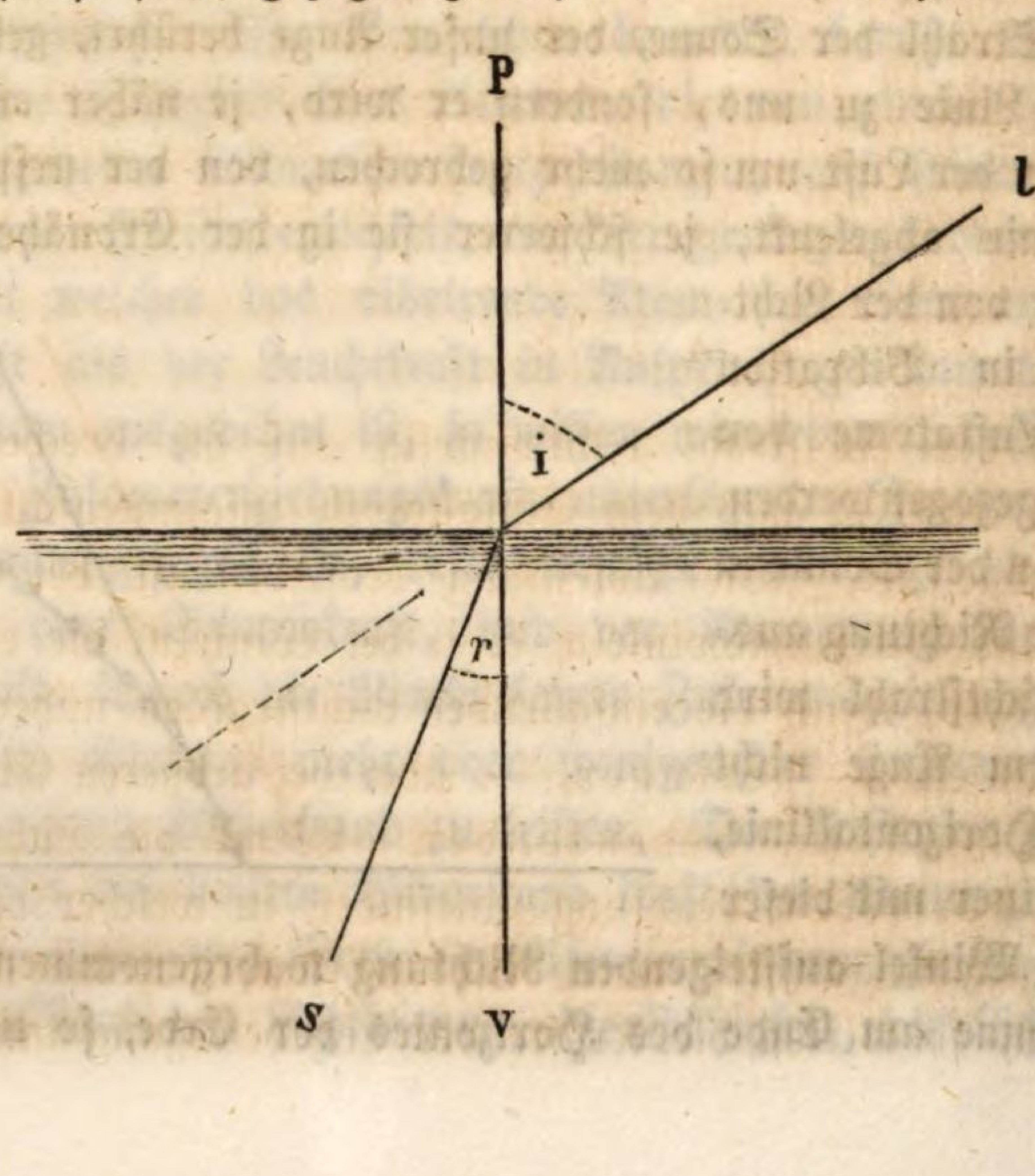
Ein von der Sonne in horizontaler Richtung ausgehender Lichtstrahl wird von unserem Auge nicht in einer Horizontallinie, sondern in einer mit dieser in schiefem Winkel aufsteigenden Richtung wahrgenommen. Befindet sich die Sonne am Ende des Horizontes der Erde, so nehmen wir

sie schon über dem Horizont erhoben wahr, — und nehmen wir die Sonne an einem Punkt des Horizontes wahr, so befindet sie sich in der That noch unter dem Horizonte. Die Strahlen, welche sie zur Zeit, als sie sich noch unterhalb des Horizontes befindet, in schiefer über die Erde hingehender Richtung ausgesendet, werden von der Luft gebrochen, d. i. die Schwingung der Luftatome wird von Atom zu Atom in Folge



der Anziehung, die diese von der Erde erleiden, mehr und mehr gegen die Erde hingelenkt, so daß das unser Auge berührende vibrirende Atom einen Stoß in horizontaler Richtung auf dasselbe ausübt, wir also die Sonne an der Grenze des Horizontes wahrnehmen, während sie noch unter demselben sich befindet, — und gleicherweise sehen wir die Sonne immer höher, als sie wirklich ist.

Lichtbrechung durch Flüssigkeiten. Auffallender und überzeugender sind die Erscheinungen, wenn ein von der Luft fortgepflanzter Lichtstrahl in eine helle Flüssigkeit einfällt. Der Lichtstrahl wird in einer solchen, Wasser z. B., wenn er in einem mit dem Einfallsloth (einer durch den Punkt, an welchem der Lichtstrahl auf die Wasserfläche fällt, gezogen gedachten Vertikallinie) 60° messenden



Winkel einfällt, durch das Wasser so gegen die Tiefe abgelenkt, daß er mit dem Einfallsloth im Wasser einen Winkel von nur 45 Graden macht. Man nennt den Winkel, den der durch die Luft fortgeleitete Lichtstrahl mit dem Einfallslothe macht, den Einfallswinkel, und den Winkel, welchen der im Wasser abgelenkte Lichtstrahl mit dem Einfallslothe macht, den Brechungswinkel. Die Zahl, welche angibt, um wie viel mal für eine bestimmte Körpermasse der Sinus des Einfallswinkels größer ist, als der des Brechungswinkels, wird der Brechungsexponent genannt. Für Wasser ist z. B. der Brechungsexponent 1,336, weil der Einfallswinkel ungefähr 1⅓ mal größer ist, als der Brechungswinkel. Der Sinus des Brechungswinkels steht für ein und denselben Körper in einem feststehenden Verhältnisse zum Sinus des Einfallswinkels.

Anmerkung.	Der Brechungsexponent		spec. Gewicht.	Zusammendrückbarkeit in Milliontheilchen des Volumens.
für Wasser	ist 1,336	bei	1,000	49,65
„ Alcohol	„ 1,372	„	0,794	94,95
„ Aether	„ 1,358	„	0,733	131,35
„ Alaunlösung (gesättigt)	„ 1,356			
„ Schwefelsäure . .	„ 1,440	„	1,48	30,35
„ Mohnöl	„ 1,463	„	0,929	
„ Terpentinöl . . .	„ 1,476	„	0,872	71,35
„ Thran	„ 1,483			
„ Citronenöl . . .	„ 1,527	„	0,852	
„ Cassiaöl . . .	„ 1,641			
„ Tolubalsam . .	„ 1,628			
„ Schwefelkohlenstoff	„ 1,680	„	1,272	31,65
„ Anisöl	„ 1,811			

Wenn ein Lichtstrahl rechtwinkelig auf die brechende Fläche fällt, d. i. wenn er mit dem Einfallsloth zusammenfällt, so wird er nicht abgelenkt. Die Ablenkung desselben ist bei kleineren Einfalls- und Brechungswinkeln, d. i. bei Winkeln, die einem Rechten sich nähern, wenn die einfallenden Lichtstrahlen näher dem Einfallslothe laufen, — geringer, — aber bei größeren Einfalls- und Brechungswinkeln ein bedeutender. Wenn die Lichtfortleitung nämlich in derselben Richtung stattfindet, in welcher die Schwer- oder Erdanziehungskraft, denen die Flüssigkeitsatome unterworfen sind, wirkt, so wirken die Kräfte der Lichtbewegung und der Erd-

anziehung in gleicher Richtung, der Lichtstrahl erleidet also keine Ablenkung. Die Ablenkung von der Bewegungslinie der lichtleitenden vibrirenden Atome einer Flüssigkeit aber wächst mit der Abweichung der Richtungslinie des Lichtstrahles von der Vertikallinie, von dem Erdradius. Je bedeutender die Kreuzung dieser beiden, desto bedeutender die Ablenkung. Daraus läßt sich nun schließen, daß das Brechungsvermögen einer Flüssigkeit mit ihrer specifischen Schwere wächst, d. h. je specifisch schwerer, oder mit andern Worten, aus je schwereren, zusammengezogeneren Atomen bestehend eine Flüssigkeit ist, desto größer ist ihr Brechungsvermögen. Diese Behauptung scheint der Erfahrung über das Brechungsvermögen und das specifische Gewicht zu widersprechen, weil specifisch leichtere Flüssigkeiten, z. B. Aether, Alkohol, Oele, ein größeres Brechungsvermögen besitzen, als das specifisch schwerere Wasser. Allein wenn man bedenkt, daß das sogenannte specifische Gewicht nur nach dem größeren oder geringeren Gewicht eines gleichen Volumens der verschiedenen Flüssigkeiten berechnet ist, und nicht nach der gleichen Anzahl von Atomen berechnet werden kann, wenn man bedenkt, daß eine geringere Anzahl von Atomen so an einander gereiht seyn kann, daß sie einen größeren Raum einnimmt, als eine größere Anzahl anderer enger an einander gereihter Atome, so stimmt das specifische Gewicht eines Körpers nicht mit der eigentlichen specifischen Schwere desselben überein, welches eigentlich in der größeren Anziehungskraft besteht, die der Erdmittelpunkt auf die Atome desselben ausübt. Mengen von Oelen können ebenso auf dem Wasser schwimmen, als ein beladenes Schiff, oder ein Stück Kork, oder ein Stück Eisen auf Quecksilber, — nämlich nach dem von Archimedes aufgestellten Prinzip. Deßungeachtet kann aber ein Atom Oel schwerer seyn als ein Atom Wasser, und ein Atom Eisen schwerer als ein Atom Quecksilber. Einige Wahrscheinlichkeit gewinnt unsere Ansicht durch die Vergleichung des Brechungsvermögens der Flüssigkeiten mit ihrem specifischen Gewicht und ihrer Zusammendrückbarkeit (s. obige Anmerkung). Wir sehen nämlich, daß diejenigen Flüssigkeiten, wie Aether, Alkohol oder Oele, welche Körper ein specifisch geringeres Gewicht haben, als Wasser, aber ein größeres Brechungsvermögen, — auch eine größere Zusammendrückbarkeit besitzen, als Wasser. Hingegen besitzen Schwefelsäure und Schwefelkohlenstoff, welche specifisch schwerer sind und das Licht stärker brechen, als Wasser, eine geringere Zusammendrückbarkeit, als dieses.

Lichtbrechung durch feste Körper. Das größere oder geringere Brechungsvermögen der festen durchsichtigen Körper, der sogenannten Eise oder Krystalle, hängt, so scheint es in der That, von dem größeren oder geringeren Grade der specifischen Schwere und, da sowie die Schwere auch die Cohäsion auf der größeren oder geringeren Zusammenziehung und daher Anziehung ihrer Atome beruht, auch von der größeren oder geringeren Cohäsionskraft derselben ab.

Anmerkung. Das Brechungsvermögen

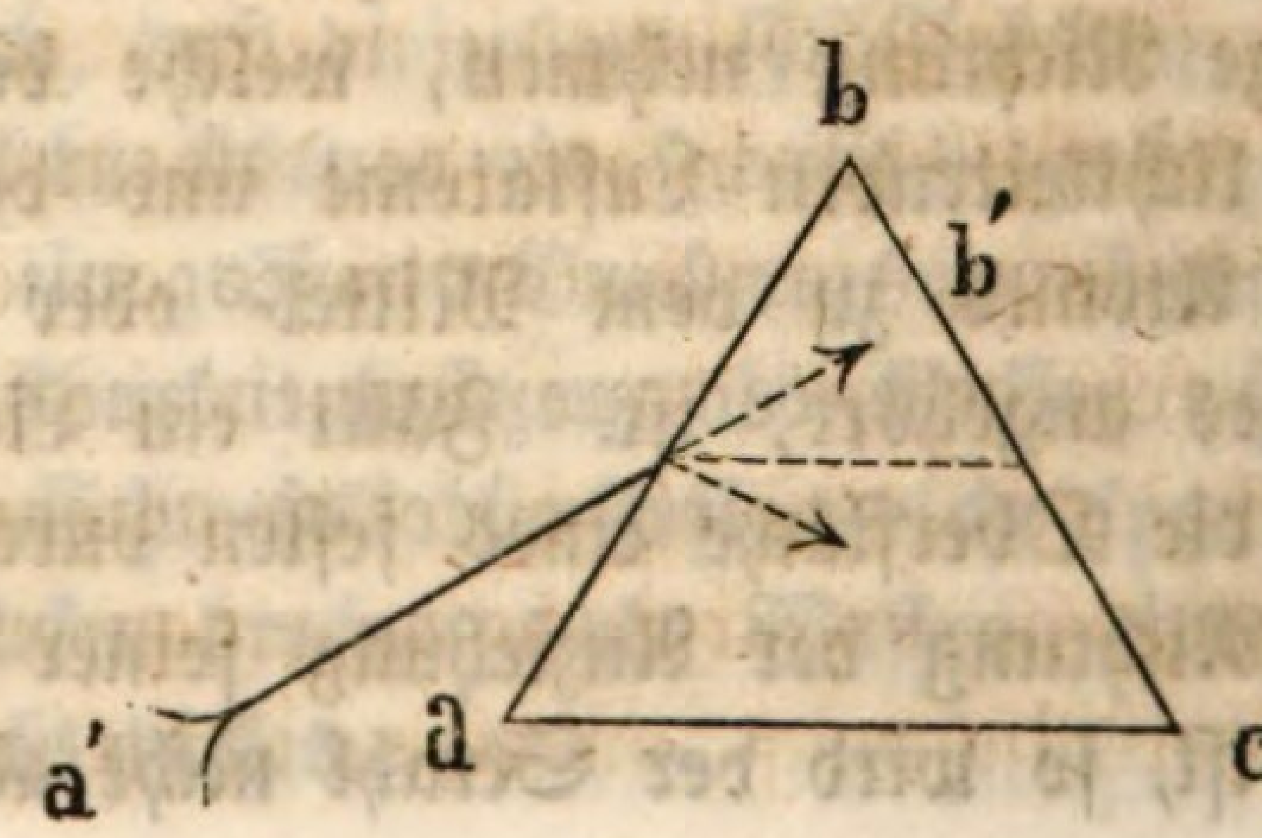
von Wasser	ist 1,336	welches	specifisch	schwer	gleich	1,000
„ Eis	„ 1,310	„	„	„	„	0,916
„ Flußspath	„ 1,436					
„ Alaun	„ 1,457					
„ Obsidian	„ 1,488					
„ Steinsalz	„ 1,498	„	„	„	„	2,14
„ Bergkrystall	„ 1,562	„	„	„	„	2,683
„ Glas, gemeinem	„ 1,596	„	„	„	„	2,642
„ Topas	„ 1,610	„	„	„	„	3,56
„ Glas, grünem	„ 1,615	„	„	„	„	2,811
„ Flintglas	„ 1,664	„	„	„	„	3,300
„ Boracit	„ 1,701					
„ Diamant	„ 2,470	„	„	„	„	3,520

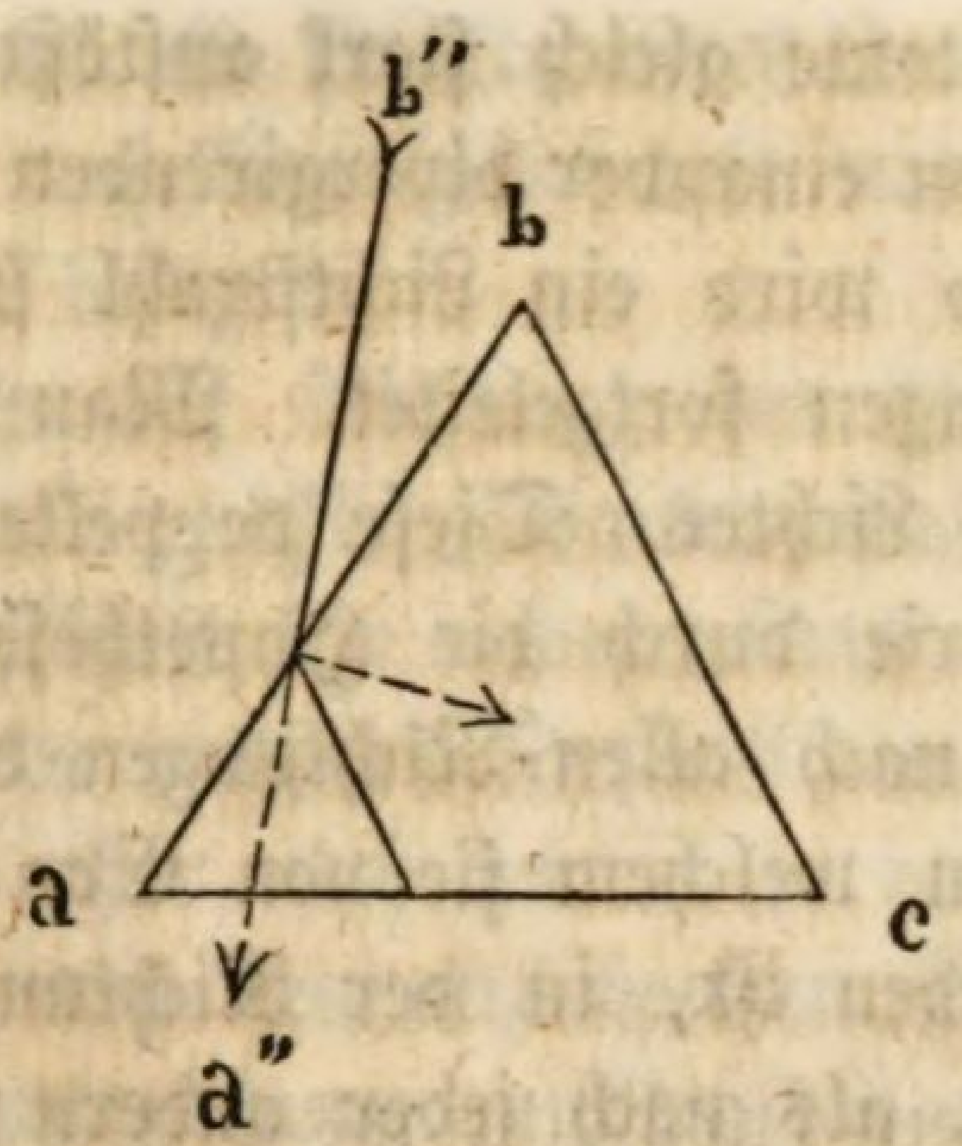
Feste Körpermassen werden von dem Erdmittelpunkt in ihrem Schwerpunkt angezogen, — die Richtung, in welcher ein fester Körper von dem Erdmittelpunkt angezogen wird, bildet eine gerade Linie, welche seinen Schwerpunkt mit dem Erdmittelpunkt verbindet. Der Schwerpunkt einer Körpermasse, in deren Mittelpunkt er beiläufig fällt, bildet auch den Anziehungsmittelpunkt der Atome einer Körpermasse, und, wenn es erlaubt ist, zu sagen, auch das Cohäsionscentrum. Wenn nun die Vibration eines das Licht fortleitenden Luftatomes ein Atom der Oberfläche eines festen durchsichtigen Körpers trifft, so wird letzteres bei seiner Vibrationsbewegung diejenige Richtung nehmen, welche die Resultante der Kraftrichtung der lichtleitenden Luftatome und der Kraftrichtung der Anziehung des Atomes zu dem Mittel- oder Schwerpunkt der Körpermasse, der es angehört, ist. Fällt ein Lichtstrahl in derjenigen Richtung auf die Oberfläche eines festen durchsichtigen Körpers, welche auch die Richtung der Anziehung seiner Atome gegen den Schwerpunkt hin ist, so wird der Strahl nicht abgelenkt, er fällt in den Radius

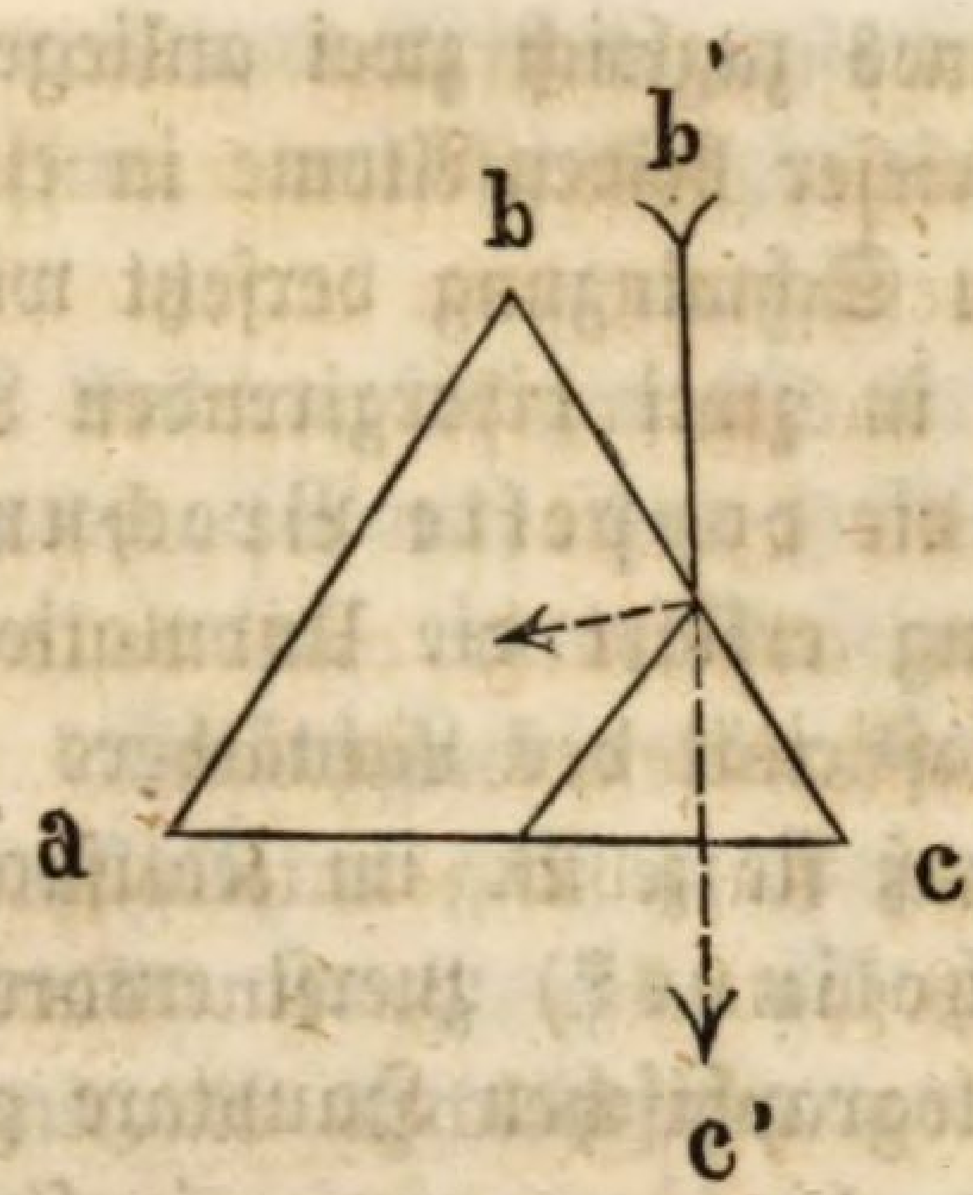
des Cohäsionscentrums. Trifft der Lichtstrahl aber ein Atom der Oberfläche eines festen durchsichtigen Körpers in einer andern als vertikalen, mit dem Radius des Cohäsionscentrums zusammenfallenden Richtung, so wird er durch den festen durchsichtigen Körper abgelenkt. Je stärker die Cohäsionskraft des letztern ist, desto mehr wird er abgelenkt, d. i. desto mehr nähert sich die Richtung der Atomenvibration desselben der Richtung der Anziehung der Atome zu ihrem Anziehungsmittelpunkt.

Es habe z. B. ein durchsichtiger Körper die Gestalt eines Prisma, mit welchem Namen man ein durchsichtiges Mittel belegt, welches durch zwei gegen einander geneigte Flächen begrenzt ist. Die Linie, in welcher sich die beiden Grenzflächen schneiden oder doch schneiden müssen, wenn sie hinreichend verlängert seyn würden, heißt die Kante desselben. Der brechende Winkel ist der Winkel, welchen die beiden Flächen des Prismas mit einander machen. Die Basis eines Prismas ist irgend eine der brechenden Kante, dem brechenden Winkel gegenüber liegende Fläche, mag sie nun in der Wirklichkeit vorhanden oder nur gedacht seyn. Hauptschnitt nennt man den Durchschnitt des Prismas mit einer auf seiner Kante rechtwinkeligen Ebene, — und ist ein Dreieck. Je nachdem dieses Dreieck rechtwinkelig, gleichschenkelig oder gleichseitig ist, nennt man das Prisma selbst rechtwinkelig, gleichschenkelig oder gleichseitig.

Die brechende Kante ist immer diejenige, gegen welche ein Lichtstrahl mehr oder weniger gerichtet ist, wenn er auf eine Fläche des Prismas auffällt. Das Atom des Prismas, welches der Lichtstrahl berührt, wird gegen den Anziehungsmittelpunkt gezogen, und die resultirende Richtung ist die Diagonale eines Parallelogramms, welches aus der Stoßkraft des lichtleitenden vibrirenden Luftatomes und der Zugkraft des Anziehungsmittelpunktes des Glasprismas gebildet man sich denken kann. Je nach der größern oder geringern Cohäsionskraft des Glases, und je nach der geringern oder größern Stärke des Lichtstoßes wird der Lichtstrahl in dem Glasprisma mehr oder weniger von seiner ursprünglichen oder vorhergegangenen Richtung abgelenkt. Fällt z. B. der Lichtstrahl auf die Fläche a b von der Richtung a′ nach b′, so ist die Kante b die brechende, — fällt







er von b'' nach a'', so ist a die brechende Kante, — und fällt er von b' nach c', so ist c die brechende Kante. Er wird immer von dem Anziehungsmittelpunkte des Glasprismas abgelenkt.

Auf ähnliche Weise wird ein Lichtstrahl, welcher auf die krumme Fläche eines kugel- oder linsenförmigen Glaskörpers auffällt, von den Glasatomen in der Resultante der Lichtstoßkraft und der Anziehungskraft des Kugel- oder Linsenmittelpunktes abgelenkt. Ein Lichtstrahl durch den Mittelpunkt (Schwerpunkt) einer aus Glas geschliffenen Kugel oder Linse wird nicht gebrochen, so wenig als ein Lichtstrahl, welcher lothrecht in ein Wasser fällt (der Brechungswinkel ist Null), weil dort wie hier die lichtleitende Atomenvibrationsrichtung mit der Anziehungsrichtung, dort des Erdmittelpunktes, hier des Glasatomenanziehungsmittelpunktes zusammenfällt.

Doppelte Lichtstrahlenbrechung. Es ist früher bemerkt worden, daß dasjenige Atom eines lichtleitenden Körpers, welches in der Richtung der Schwingung des vor ihm vibrirenden Atomes den Stoß empfängt, am stärksten angestoßen wird (mehr, als die in einer Nebenrichtung angestoßenen Atome), und daß die Schwingungen desselben und die von ihm in derselben Richtung veranlaßten Schwingungen der folgenden Atome am schnellsten und längsten wirkend sind. Bei Flüssigkeiten und bei Glas ist es der Fall, daß in derselben Richtung, in welcher das erste Grenzatom des Wassers oder Glases durch den von einem Luftatom empfangenen Lichtstoß sich schwingt, nur Ein an dieses anliegendes Atom und so fort durch das vorhergehende nur immer ein folgendes Atom in Schwingung versetzt wird. Sind aber die Atome eines durchsichtigen Körpers vermöge ihrer Form so an einander gelagert, daß ein Grenzatom in einer Richtung von einem lichtleitenden Luftatom angestoßen statt

nur eines zugleich zwei anliegende Atome gleich stark anstößt, und jedes dieser beiden Atome in einer von einander divergirenden Richtung in Schwingung versetzt wird, so wird ein Lichtstrahl statt in Einer in zwei divergirenden Richtungen fortgeleitet. Man nennt dieses die doppelte Brechung des Lichtes. Diese doppelte Lichtbrechung erklärt die Undulationstheorie durch die Hypothese, daß die Elasticität des Lichtäthers nicht nach allen Richtungen dieselbe sey, daß sie z. B. im Kalkspathe, in welchem sie von Erasmus Bertholinus*) zuerst entdeckt worden ist, in der Richtung der krystallographischen Hauptaxe größer, als nach jeder andern Richtung, — hingegen am geringsten nach allen Richtungen, welche auf der Axe rechtwinkelig stehen, sey. Nach unserer Atomenvibrations-Theorie von dem Lichte ist es nicht nöthig, nach einer außerhalb derselben liegenden Annahme zu suchen, sondern die doppelte Lichtbrechung, oder die Spaltung des in gewisse Körper dringenden Lichtstrahles erklärt sich aus der Gestaltung und der gegenseitigen Lagerung der kleinsten Theile solcher Körper zur Genüge. Solche doppelt lichtbrechende Körper sind alle Krystallformen, welche nicht zu dem regelmäßigen Krystallsysteme gehören. Alle Krystalle, die natürlichen, in der Natur vorgefundenen sowol, als die künstlichen, in den chemischen Laboratorien hervorgebrachten, lassen sich nämlich auf sechs Grundformen zurückführen: das reguläre, das quadratische, das hexagonale, das rhombische, das monoklinische und das triklinische System, und man weiß aus der Erfahrung, daß die kleinsten Theile der Krystalle, so klein diese nur zertheilt werden, und diese Theile durch möglichst vergrößernde Mittel noch gesehen werden können, — dieselbe Gestalt oder Form haben, als der ganze oder große Krystall, dessen Theile sie sind. Wenn man die Krystallformen mit derjenigen Form, welche allen Verschiedenheiten von Gestaltungen untergelegt werden kann, mit der Urform, der Kugelgestalt, in welcher alle Punkte ihres Umfanges gleich weit von dem Mittelpunkt derselben entfernt, in welcher alle Radien einander gleich groß sind, in Vergleich zieht, so unterscheiden sich die Krystallformen von der Kugelgestalt dadurch,

---

*) In seinen: „Experimenta Crystalli Islandici, disdiaclastici, quibus mira et insolita refractio detegitur“, im Jahre 1669 in Kopenhagen erschienen, beschrieben.

daß nicht alle Punkte ihres Umfangs von dem Mittel- und Schwerpunkt derselben gleichweit entfernt sind, daß sie ungleich große Radien besitzen.

In der Richtung der kürzesten Radien besitzen die Krystallatome die größte Zusammenziehung und also auch ihre größte Anziehungskraft für andere Krystallatome, durch deren Anziehung sie zu einem größern Krystalle wachsen. Die anzuziehenden Krystalle werden aber auch wieder in der Richtung ihrer größten Zusammenziehung von den anziehenden Krystallatomen angezogen. Die größte Zusammenziehung der Krystallatome und ihre kürzesten Radien fallen in den Mittelpunkt der Flächen ihres Umfanges, ihre geringste Zusammenziehung und die längsten Radien fallen auf die Grenzlinie dieser Flächen, auf die Kanten, und insbesondere auf die Endpunkte dieser Kanten, auf die Endpunkte ihrer *Axen*. Man nennt nämlich die *Axen* eines Krystalles die geraden Linien, welche zwei sich entgegengesetzte Ecken oder Spitzen des Krystalles mit einander verbinden, zu welchen Axen die einzelnen Flächen eine symmetrische Lage haben. So besteht das reguläre Krystallsystem in einer solchen Gestaltung und Aneinanderkleben der Krystallatome, daß drei gleich lange Axen zu einander rechtwinkelig gestellt sind. Zwischen je drei Spitzen dieser Axen liegt eine dreieckige Fläche, so daß die ganze Krystallform aus acht gleich großen dreieckigen Flächen besteht, und daher die *oktaedrische* Form, der Krystall ein Octaeder genannt wird. Der Mittelpunkt eines jeden dieser Dreiecke bildet das Ende eines kürzesten Radius des Krystalles, deren ein Octaeder daher acht hat. In der Richtung eines dieser kürzesten Radien wird ein Krystall von dem andern gegenseitig angezogen, und obwaltet keine äußere Störung, so ziehen sich die Endpunkte gleich kurzer Radien gegenseitig an, daß also immer die eine dreieckige Fläche die andere deckt. An Ein oktaedrisch geformtes Krystallatom — Uratom eines Krystalles zu nennen — können sich also acht gleich große oktaedrische Krystallatome anlegen, und jedes dieser angezogenen Krystallatome liegt mit jeder seiner acht Flächen auf einem andern Krystallatom derselben Form auf, — oder jedes oktaedrische Krystallatom ist von acht andern gleichen umgeben.

Bei dieser regulären oktaedrischen Krystallform sind die kürzesten Radien all ihrer Flächen gleich lang, und fallen die kürzesten Radien von zwei einander entgegengesetzten Flächen in eine gerade Linie, bilden mit einander einen Durchmesser (wie entgegengesetzte

Radien einer Kugel), welcher mit dem Durchmesser anderer zwei sich entgegengesetzter Flächen rechtwinkelig sich kreuzt. Bei den übrigen Krystallformen durchkreuzen sich je zwei aus zwei sich entgegengesetzten Radien gebildete Durchmesser nicht rechtwinkelig, oder es sind die kürzesten Radien der Fläche ungleich lang. Bei dem quadratischen System oder dem Quadratoctaeder sind zwei Axen einander gleich groß, die dritte, Hauptaxe genannt, aber größer als die beiden ersten, durchkreuzen sich jedoch rechtwinkelig. Bei dem hexagonalen System durchkreuzen sich drei gleich große Axen in einer Ebene in Winkeln von 60 Graden, während die vierte größere Axe (Hauptaxe) rechtwinkelig auf der Kreuzungsebene der übrigen horizontalen Axen steht und durch den Kreuzungsmittelpunkt geht. Bei dem rhombischen System sind drei ungleich große Axen zu einander rechtwinkelig gestellt. Bei dem monoklinischen System steht die Hauptaxe rechtwinkelig auf der Ebene, auf welcher sich zwei kleinere Axen schiefwinkelig durchkreuzen. Bei dem triklinischen System endlich sind die drei Axen ungleich groß und stehen alle zu einander in nicht rechtwinkeliger Kreuzung.

Durch die Verschiedenheit der Form der Krystalle ist die gegenseitige Stellung der Krystallatome eine verschiedene, und diese bedingt auch eine verschiedene Richtung in der fortzupflanzenden Bewegung, welche ein Krystallatom von außen durch die Lichtstoßbewegung erlangt. Ein Grenzatom eines Krystalles, welches durch die Anstoßung eines lichtleitenden schwingenden Luftatomes nach einer bestimmten Richtung in Bewegung versetzt wird, kann durch seine Bewegung entweder ein oder zwei anstoßende Krystallatome je nach der Richtung der Bewegung und der Anlage der Atome in Schwingung versetzen. Bei den kugeligen und regelmäßig octaedrisch geformten Krystallatomen kann durch die Bewegung eines Atomes in irgend einer Richtung nur Ein Nachbaratom in Hauptschwingung versetzt werden. Bei den unregelmäßigen Krystallformen und der davon abhängigen Lagerung der Atome werden in gewisser Bewegungsrichtung eines Grenzatomes nur eines, in andern Bewegungsrichtungen zugleich zwei Nachbaratome in Schwingung versetzt. Die Richtung, in welcher die empfangene Lichtstoßbewegung einfach, in Einer Linie fortgepflanzt wird, nennt man die optische Axe, welche meist mit der Hauptaxe des Krystalles zusammenfällt. Krystalle des quadrat-octaedrischen und des hexagonalen Systems besitzen nur Eine, — Krystalle des rhombischen, monoklinischen und triklinischen

Systems deren zwei. Jene werden optisch einaxig, diese optisch zweiaxig genannt. Die Folge aber davon, daß ein Grenzatom eines Krystalles in einer solchen, die optische Axe mehr oder weniger winkelig durchschneidenden Richtung in Bewegung gesetzt wird, auf daß zwei Nachbaratome von dem Grenzatom in Schwingung versetzt werden, — daß die Schwingungen dieser beiden Atome gemäß ihrer Stellung eine von einander divergirende Richtung annehmen, — der Lichtstrahl also nach zwei von einander divergirenden Richtungen durch den unregelmäßig geformten Krystall hindurch fortgeleitet wird, — nennt man, wie schon oben bemerkt, die doppelte Brechung.

Von den beiden gebrochenen Strahlen hat der Eine eine größere und ständig dieselbe bleibende Ablenkung von dem Punkte des Lichteintrittes, und der andere eine geringere, aber je nach der mehr rechtwinkeligen oder mit der optischen Axe parallel laufenden Richtung des Lichteintrittes eine variirende größere oder geringere Ablenkung. Man nennt deßhalb jenen den gewöhnlichen, ordentlichen oder ordinären Strahl, — diesen den ungewöhnlichen, außerordentlichen, extraordinären Strahl. Bei dem hexagonalen Kalkspathe ist für den ordinären Strahl der Brechungsexponent 1,654, — der Werth des extraordinären Strahles aber wechselt zwischen 1,654 und 1,483. Je mehr der Lichteintritt in der Richtung der optischen Axe stattfindet, desto geringer ist die Divergenz des extraordinären Strahles von dem ordinären, und man kann sagen, jener fällt mit diesem zusammen, wenn die Richtung des Lichteintrittes parallel mit der Richtung der optischen Axe geht.

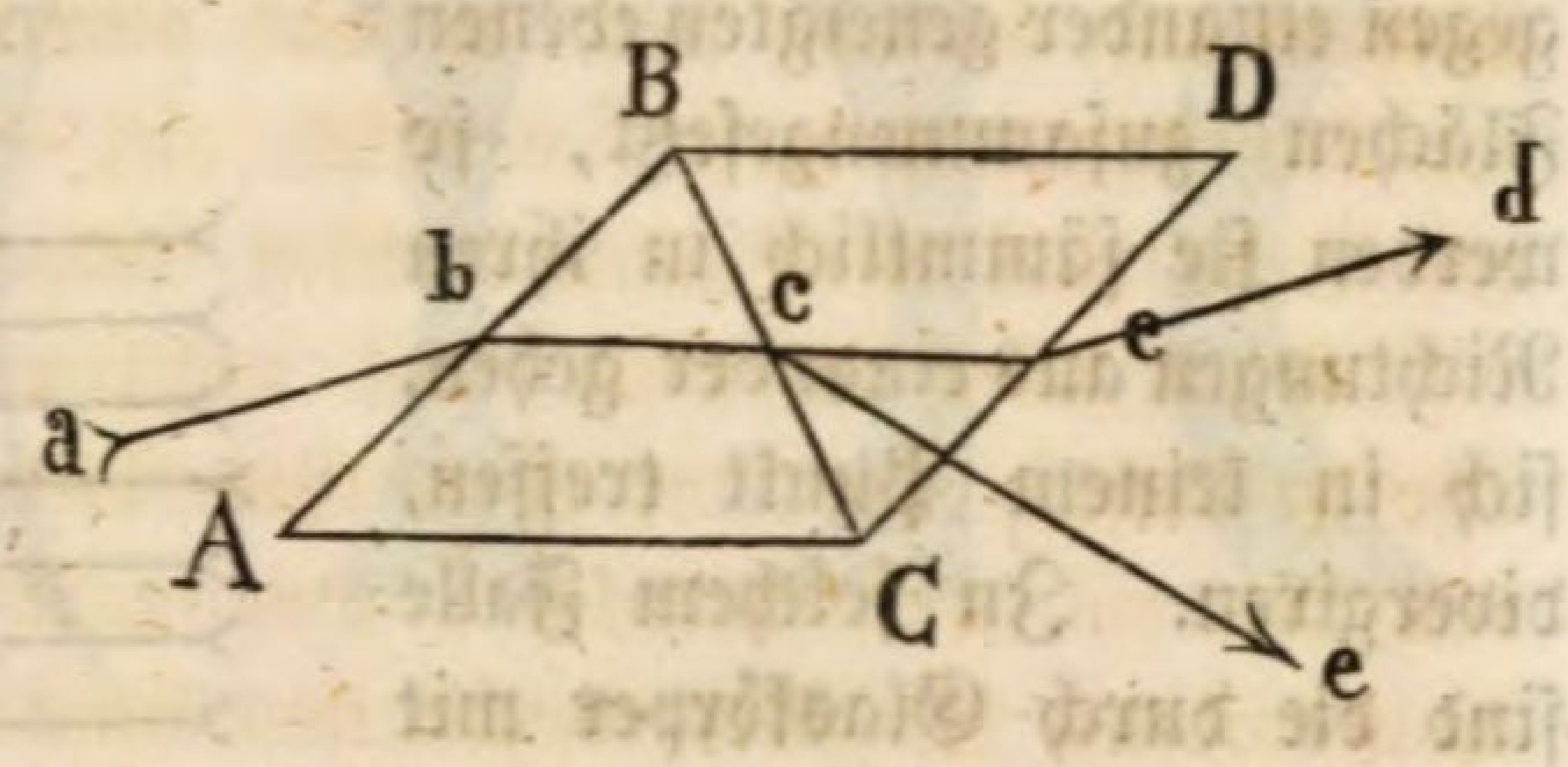
Austritt eines Lichtstrahles aus einem mehr brechenden in ein minder brechendes Medium. Ist ein Lichtstrahl lothrecht aus Luft in ein Wasser oder ein anderes flüssiges Medium eingefallen, so geht er auch in vertikaler Richtung durch das Wasser durch, und wird, wenn unter dem Wasser eine zweite Schicht Luft sich befindet, auch in vertikaler Richtung, also in gerader Linie mit der Einfalls- und der Durchgangsrichtung aus dem Wasser in die Luft übertreten. Deßgleichen geht ein lothrecht auf eine Ebene eines festen durchsichtigen Körpers, z. B. Glases, in vertikaler Richtung durch das Glas, und wenn die Ebene, an welcher der Lichtstrahl austreten sollte, parallel mit der Ebene des Glases, an welcher er eingetreten, ist, so geht er auch in derselben vertikalen Richtung aus dem Glas in die Luft, — oder mit andern Worten: wenn der einfallende

Lichtstrahl einen rechten Winkel mit der Einfallsebene bildet, und die Austrittsebene parallel der Einfallsebene ist, so tritt der Lichtstrahl auch unter der Richtung eines rechten Winkels mit der Austrittsebene aus dem Glase aus. Es werden nämlich in diesen Fällen, weil in dem ersten die Schwerkraft, in dem zweiten die Cohäsionskraft in gleicher Richtung auf die Atome der Luft, und des Wassers oder Glases wie die Lichtschwingungskraft wirkt, die Atome des mehr brechenden Mediums in gerader mit dem Einfallsstrahl in gleicher Richtung gehender Linie successive, eines durch das andere in Vibration gesetzt, und es stoßt auch das Atom desjenigen Mediums, der Luft also, in welches die Bewegung fortgepflanzt werden soll, an das vibrirende Endatom, an welchem der Lichtstrahl austritt, vertikal an, — die Bewegung und daher der Lichtstrahl wird auch vertikal fortgeleitet.

Fällt aber der Lichtstrahl nicht vertikal aus der Luft in eine Wasserfläche (oder eine ebene Glasfläche), vielleicht in einem Winkel von 30° mit der Vertikale, und wird gemäß der Schwerkraft der Wasseratome die Atomenvibrationslinie von der Linie des einfallenden Lichtstrahles abgelenkt, so daß die Wasserlichtstrahlslinie einen Winkel von 22° mit der Vertikalen bildet, so stößt das vibrirende Endatom der Wasserschichte an der Austrittsebene nicht unmittelbar allein an das angrenzende größere Luftatom, sondern jenes gibt seinem seitlich anliegenden Grenzatom der Wasserschicht einen mehr oder weniger horizontalen Stoß. Dieser mehr oder weniger in horizontaler, und jener in der schiefen, mit der Vertikale einen Winkel von 22° machenden Richtung gehende Stoß gibt einen resultirenden Stoß dem angrenzenden Luftatom, welcher in seiner Richtung wieder gleich ist einer Richtung, die mit der Vertikale einen Winkel von 30° macht, — in welcher Richtung nämlich der durch das Wasser mehr gebrochene Lichtstrahl aus der Luft in das Wasser eingefallen ist. So kommt es, daß, wenn ein Lichtstrahl eine ganze Reihe von parallelen Platten von verschiedenem Brechungsvermögen durchläuft, derselbe doch endlich wieder parallel mit seiner ursprünglichen Richtung, des einfallenden Strahles nämlich, austreten wird.

Läuft die Fläche, an welcher der gebrochene Lichtstrahl austreten soll, nicht parallel mit der Fläche, an welcher er eingefallen ist, so wird von dem letzten Atom der Vibrationslinie des brechenden Mediums an der Austrittsfläche die Stoßbewegung wieder

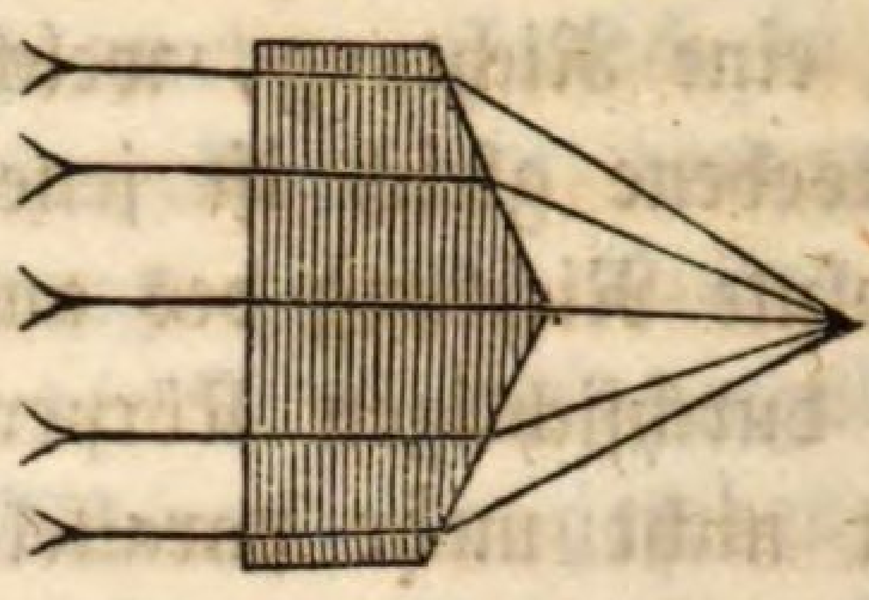
auch dem Nachbaratom an der ausgedehnteren Seite mitgetheilt, und die Stoßkraft des erstern und die des letztern resultiren zwar für die dem anliegenden Luftatom von dieser mitgetheilten Bewegung eine Richtung, welche in Bezug auf die Einfalls- und Austrittsebene gleich ist jener des einfallenden Lichtstrahles. Aber die absolute Richtung des aus einem mit unparallelen Flächen begrenzten durchsichtigen Körper austretenden Lichtstrahles läuft in der Luft nicht mehr parallel mit der Richtung des aus der Luft in den mehr brechenden Körper einfallenden Lichtstrahles, sondern beide haben eine mehr oder weniger divergirende Richtung. Ein Lichtstrahl z. B., welcher, durch einen mit einander parallelen Flächen begrenzten Glaskörper gehend, die Richtung a b c d nimmt, wird, wenn ein solcher Körper durch einen mitten durch zwei sich entgegengesetzte Kanten gehenden Abschnitt in einen



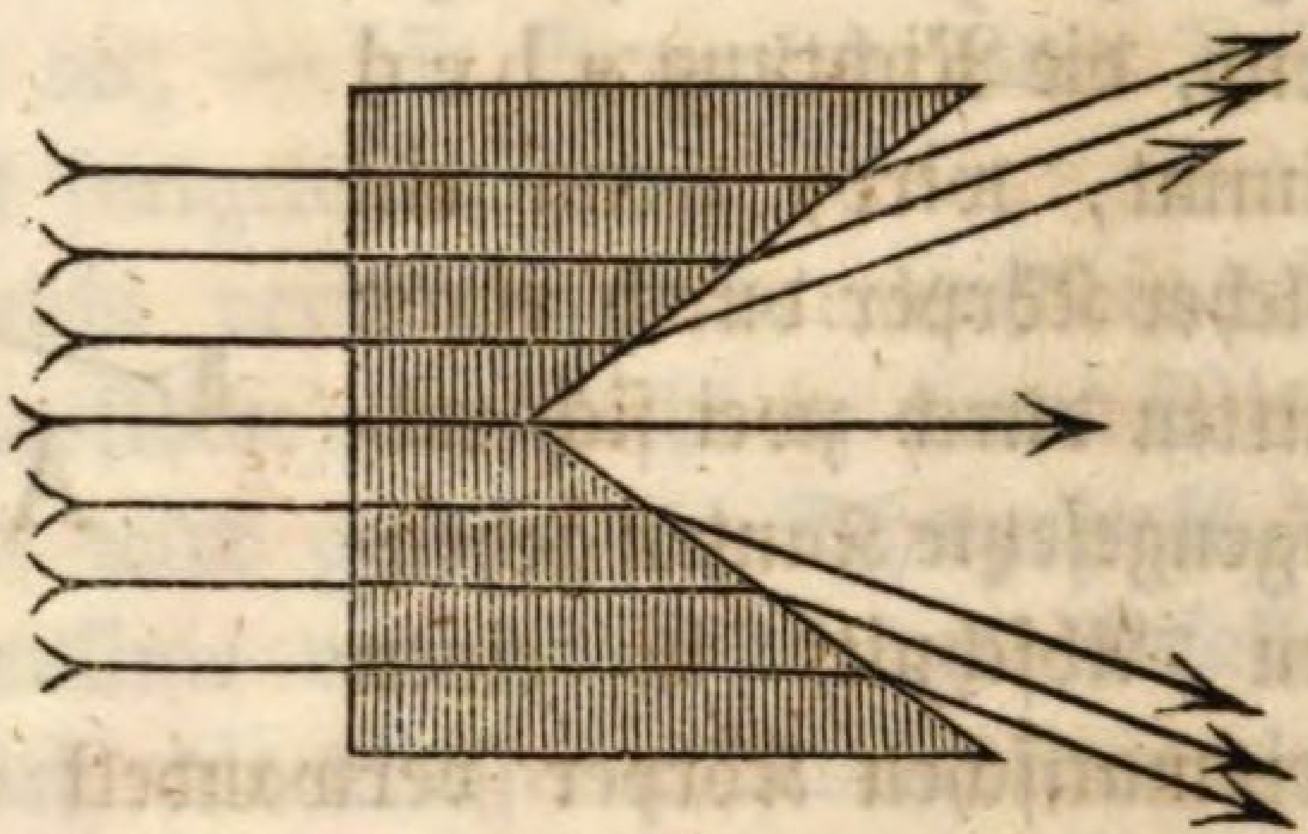
prismatischen Körper verwandelt wird, durch diesen die Richtung a b c e nehmen. Beide Winkel, welche der austretende Strahl dort bei dem parallelen, hier bei dem prismatischen Körper mit der Ebene, von der er austritt, macht, sind gleich dem Winkel, den der einfallende Lichtstrahl mit der Einfallsebene macht. Allein da die Richtung oder die Neigung der Austrittsebene in Beziehung zu der Einfallsebene eine verschiedene ist, so ist auch die Richtung eines Lichtstrahles, der unter gleichen Verhältnissen in den Glaskörper eintritt und von diesem gleich stark gebrochen wird, eine verschiedene, — die Richtung beider austretenden Strahlen ist eine von einander divergirende. Das Grenzatom an der Austrittsfläche, welches zuerst die Stoßbewegung der den Lichtstrahl bezeichnenden Atomenvibration empfängt, theilt die erhaltene Bewegung bei dem Parallelogramm seinem nach D gelegenen, bei dem Prisma seinem nach C gelegenen Nachbaratom mit. Die Resultirende beider gibt dem aus dem Parallelogramm gehenden Strahl die Richtung nach d, dem aus dem Prisma tretenden Strahl die Richtung nach e.

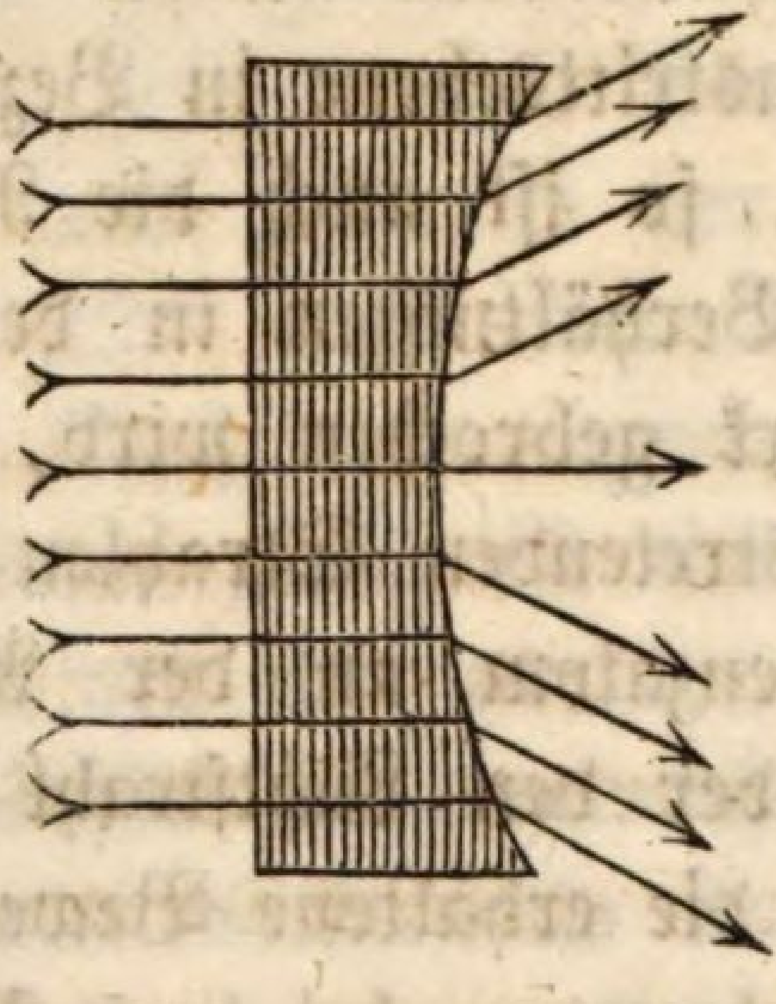
Lichtstrahlen, welche in gleicher Richtung auf eine ebene Fläche eines durchsichtigen Glaskörpers einfallen, und in gleicher Richtung von diesem gebrochen werden, treten, wenn der Glaskörper von mehreren nicht mit der Einfallsebene parallelen Grenzflächen begrenzt

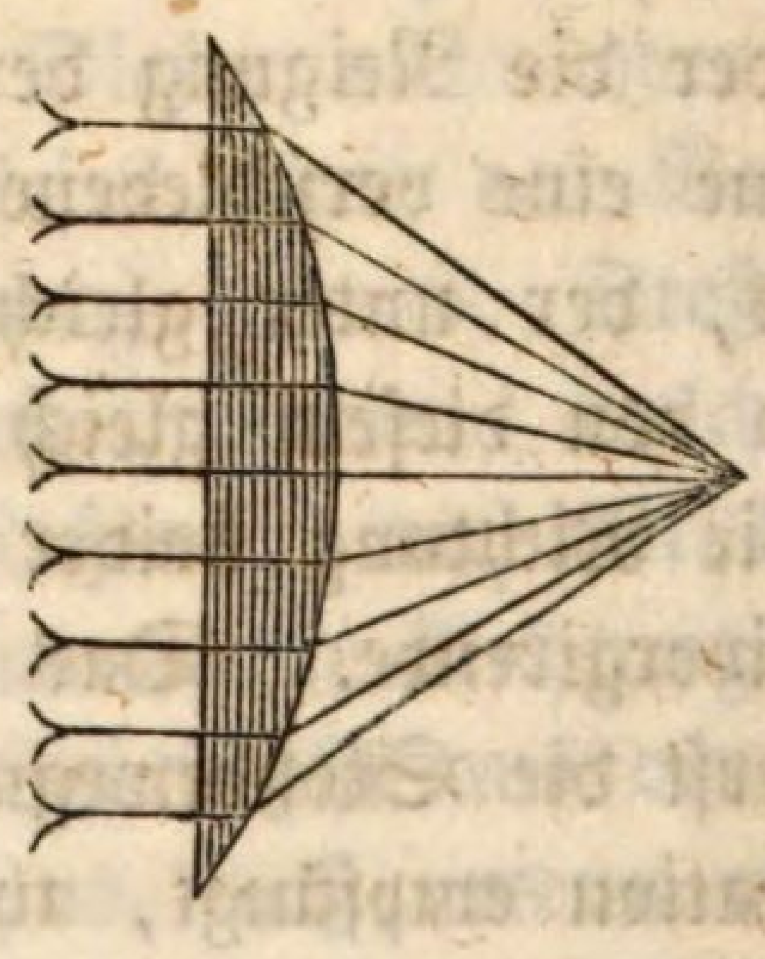
ist, aus diesen in verschiedenen Richtungen aus, je nach den Neigungen der besagten Grenzflächen. Ist z. B. die der Einfallsebene entgegengesetzte Begrenzung des Glaskörpers aus zwei von einander abgeneigten Flächenebenen zusammengesetzt, so werden alle durch denselben gehenden Lichtstrahlen, welche aus den von einander abgeneigten Ebenen treten, in irgend einem Punkt oder in irgend welchen Punkten zusammentreffen, convergiren.



Ist aber die der Einfallsebene entgegengesetzte Begrenzung des Glaskörpers aus zwei gegen einander geneigten ebenen Flächen zusammengesetzt, so werden sie sämmtlich in ihren Richtungen aus einander gehen, sich in keinem Punkt treffen, divergiren. In solchem Falle sind die durch Glaskörper mit erhoben runder, convexer, oder hohlrunder, concaver, Begrenzung gehenden Lichtstrahlen, da gekrümmte Flächen als aus unzählig vielen von oder zu einander geneigten Ebenen zusammengesetzte zu







betrachten sind. Glaskörper mit convexen Begrenzungsflächen lassen die durch sie gegangenen Lichtstrahlen in zu einander convergirenden Richtungen austreten, — Glaskörper mit concaven Begrenzungsflächen dieselben in divergirenden Richtungen.

Anmerkung. In demjenigen Theil der speciellen oder angewandten Physik, der von dem Sehen handelt, Optik genannt, bilden die linsenförmigen Körper und die Glaslinsen den Hauptgegenstand der Betrachtung bei

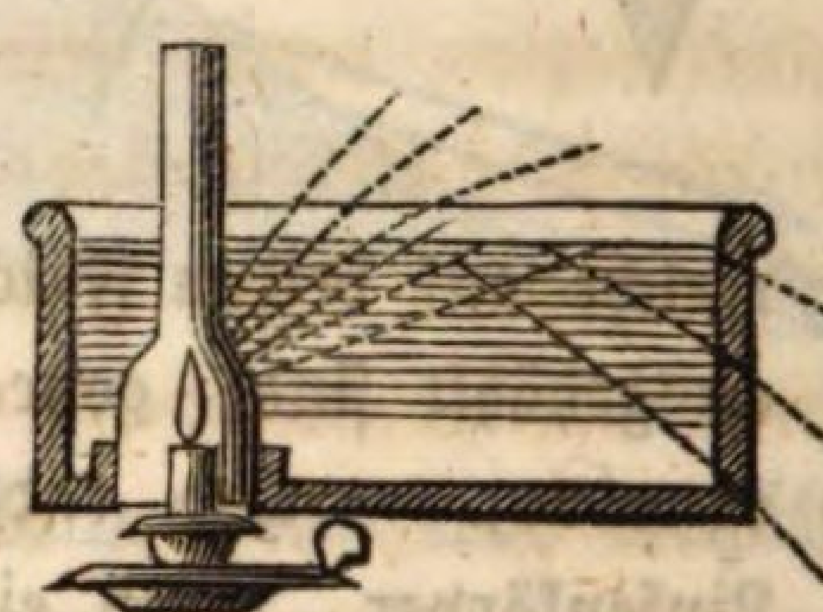
Grenze des Austritts der gebrochenen Strahlen. Fällt ein Lichtstrahl so auf ein durchsichtiges Medium, daß er, gebrochen, das Grenzatom der Austrittsfläche des brechenden Mediums in einer solchen Richtung in Schwingung versetzt, daß die Richtung der Schwingung des Grenzatoms nicht mehr das angrenzende Luftatom, sondern nur die benachbarten Grenzatome trifft, so wird die

dem natürlichen und dem künstlichen Sehen, — die Apparate derselben sind meist aus linsenförmigen durchsichtigen Körpern zusammengesetzt. Man unterscheidet biconvexe Linsen und biconcave, — d. h. Linsen,

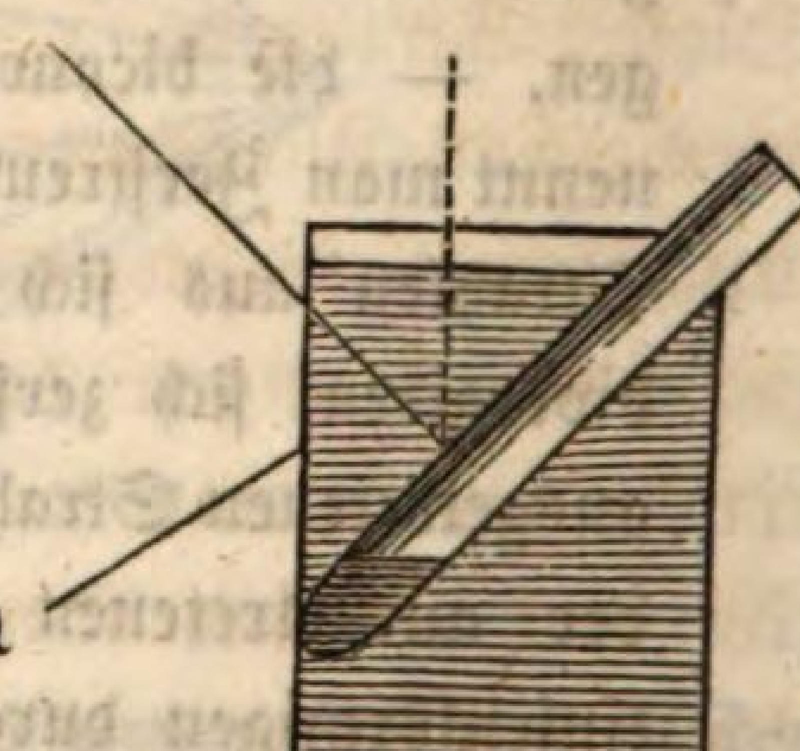


welche auf beiden Flächen entweder in der Mitte erhoben, convex, oder ausgehöhlt sind, concav, — und dann wieder planconvexe und planconcave, — und endlich convexconcave und concavconvexe, — d. h. Linsenkörper, deren eine Fläche entweder eben, und die andere concav oder convex, — oder deren eine Fläche concav und die andere convex ist. Die biconvexen, planconvexen und concavconvexen nennt man Sammellinsen, weil sie die von einem Punkt ausgehenden Lichtstrahlen auffangen, brechen und wieder aus sich so treten lassen, daß die ausgetretenen Strahlen sich in Einem oder in gewissen Punkten vereinigen, — die biconcaven, planconcaven und die convexconcaven hingegen nennt man Zerstreuungslinsen, weil sie die aufgefangenen und gebrochenen Strahlen aus sich so treten machen, daß diese in ihren Richtungen divergiren, sich zerstreuen. Je entfernter von dem Vereinigungspunkt der ausgetretenen Strahlen, — in einer je größeren Divergenz, Zerstreuung der ausgetretenen Strahlen, welche von einem Gegenstand auf einen linsenförmigen durchsichtigen Körper fallen und durch denselben gehen, — der Gesichtspunkt, der Seh- oder Schaupunkt genommen wird, in desto größerer Ausdehnung wird der Gegenstand gesehen. Dieses ist das Mittel, einen Gegenstand in vergrößertem Maaßstab zu sehen, dieses das Mittel, einen entfernter liegenden Gegenstand, weil er größer wird, näher zu sehen. Die Apparate, durch welche dieses Mittel in Ausführung gebracht wird, heißen Vergrößerungsgläser, Brillen, Lupen, Mikroscope, Fernröhren, Telescope.

Lichtstrahlbewegung nicht mehr in die Luft (oder ein anderes anstoßendes Medium) fortgepflanzt, sondern die Atomenschwingung bleibt in dem ersten Medium, — man sagt, der Lichtstrahl kann nicht mehr austreten. Der Winkel, unter welchem ein Lichtstrahl auf ein durchsichtiges Medium so fällt, daß der Lichtstrahl, nachdem er gebrochen, gerade noch austreten kann, heißt der Grenzwinkel. Denn fällt ein Lichtstrahl in einem größern Winkel als der Grenzwinkel ist, auf ein brechendes Medium, so kann er, gebrochen, nicht mehr austreten. Jener Winkel bildet die Grenze zwischen der Möglichkeit und Unmöglichkeit des Austrittes. So ist z. B. der Grenzwinkel für Luft und Wasser zu 48° 35′ berechnet. Wenn ein Lichtstrahl, sich im Wasser fortpflanzend, mit dem Einfallslothe einen Winkel von 48° 35′ macht, so wird er nach seinem Austritt in die Luft einen Winkel von 90° mit dem Lothe machen, d. h. er wird sich parallel mit der Trennungsfläche zwischen Luft und Wasser bewegen; alle im Wasser sich bewegenden Strahlen aber, welche mit dem Einfallslothe einen Winkel machen, welcher größer ist, als 48° 35′, können nicht mehr austreten, die Atomenschwingung wird in den Wasseratomen fortgepflanzt, und der Lichtstrahl wird an der Grenzfläche des Wassers reflektirt, gespiegelt.



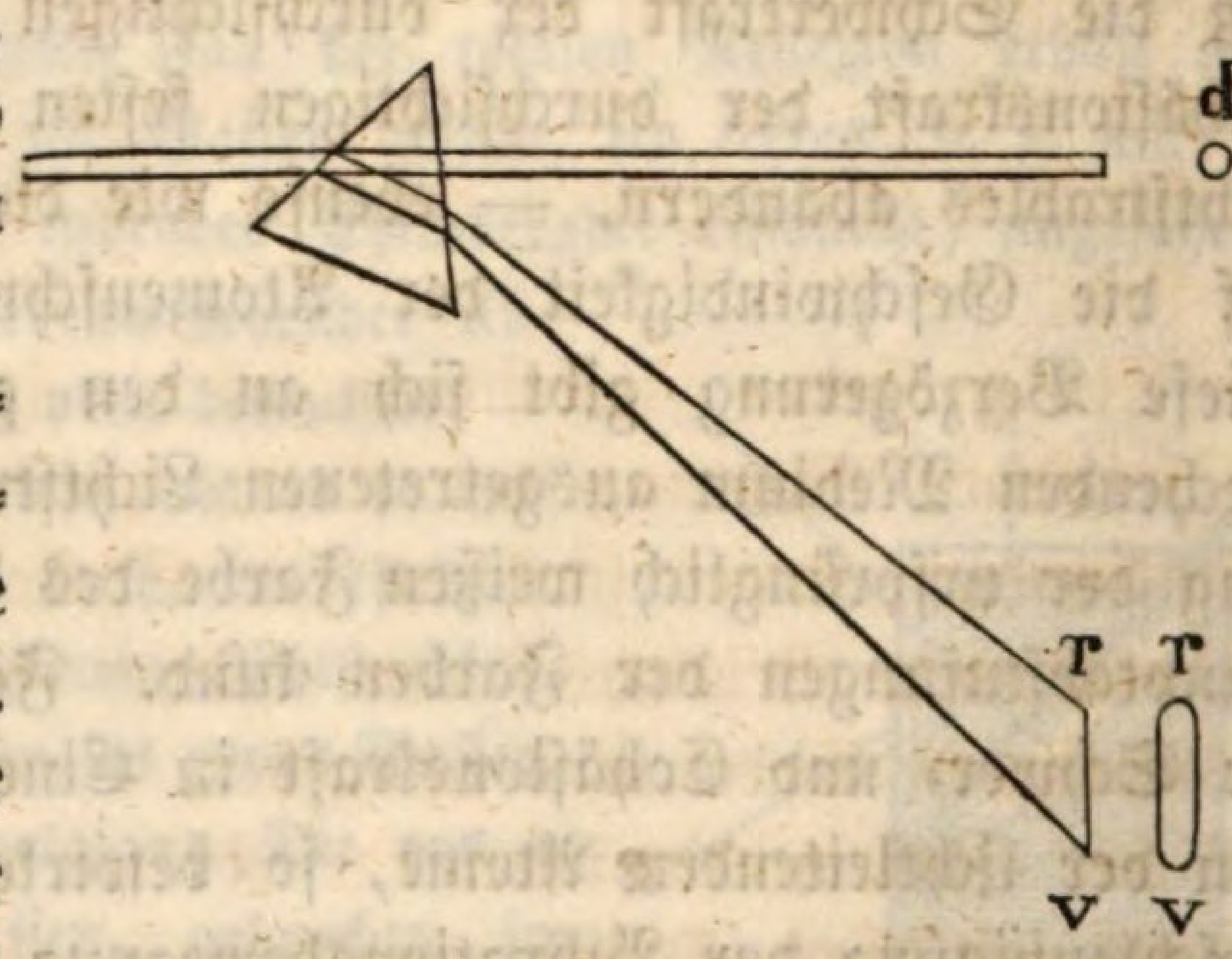
Anmerkung. Einen interessanten Fall der totalen Reflexion erhält man, wenn man in ein Glas, mit Wasser gefüllt, ein leeres, d. i. mit Luft gefülltes unten blindsackig endendes Cylinderglas eintaucht, ungefähr in der Stellung, wie in nebenanstehender Abbildung, und dasselbe von oben betrachtet; — es erscheint dem Auge ebenso, als ob es mit Quecksilber gefüllt wäre, d. h. es reflektirt, spiegelt die auf es gefallenen Lichtstrahlen. Gießt man in das Cylinderglas etwas Wasser, so verschwindet der Spiegelglanz. Die von a kommenden Strahlen treffen, gebrochen in dem Wasser, die Glasröhre unter einem solchen Winkel, daß sie nicht mehr in die Luft der Röhre austreten können, was aber wieder der Fall bei dem in die Röhre gegossenen Wasser, weil die Schwingungen der Glasatome in einer solchen Richtung sich befinden, daß sowol die kleineren Wasseratome, als die größeren Luftatome in Schwingung versetzt werden können, um den Strahl fortzupflanzen.

a


Beschleunigung und Verzögerung der Vibrationsbewegung der Atome. Wir haben oben bei der Erläuterung der Pendelbewegungen die Beobachtung gemacht, daß die Pendel, deren Schnur kleiner ist, als die Pendel mit größerer Schnur, schneller schwingen als letztere. Wir haben ebenfalls wahrgenommen, daß gleich lange Pendel in der Nähe der Polargegenden schneller schwingen, in ein und demselben Zeittheile mehr Schwingungen machen, als in der Nähe des Aequators, weil jene näher der anziehenden Kraft, der Erdmittelpunktanziehungskraft, sich befinden, als diese, jene also stärker von der Kraft bewegt, d. i. angezogen werden, als diese. Im ersten Fall ist es das größere Hinderniß, der größere zu durchschwingende Raum (Kreisbogen), welches die Bewegung verzögert, und das geringere Hinderniß, der kleinere zu durchschwingende Kreisbogen, welches eine schnellere Bewegung zuläßt; — im zweiten Falle ist es die größere Nähe an der bewegenden Kraft und die größere Einwirkung der bewegenden Kraft auf den zu bewegenden Pendelkörper, welche eine beschleunigte Bewegung des Pendels hervorbringt. Aehnlicher Weise werden auch die die Fortpflanzung der Lichtbewegung besorgenden Schwingungen, Vibrationen der Atome der sogenannten lichtleitenden Körper in ihrer Geschwindigkeit verzögert, wenn andere auf die in Vibration gesetzten Atome wirkende Kräfte eine größere Stärke ausüben. Wir haben gesehen, daß die Schwerkraft der durchsichtigen flüssigen Körper und die Cohäsionskraft der durchsichtigen festen Körper die Richtung des Lichtstrahles abändern, — ebenso wie die Richtung wirken sie auch auf die Geschwindigkeit der Atomenschwingungen verzögernd ein. Diese Verzögerung gibt sich an den gebrochenen und aus dem brechenden Medium ausgetretenen Lichtstrahlen durch die Verwandlung der ursprünglich weißen Farbe des Lichtes in die verschiedenen Hauptabstufungen der Farben kund. Fällt hingegen die Wirkung der Schwer- und Cohäsionskraft in Eine Richtung mit der Vibration der lichtleitenden Atome, so bewirken diese beiden Kräfte eine Beschleunigung der Vibrationsbewegung, eine Erhöhung der Farbe. Wir können nun die Farben definiren als eine verzögerte Geschwindigkeit in der Atomenschwingung, als eine verlangsamte Lichtleitung, — die Wahrnehmung der Farben mit unserem Auge als ein Fühlen von einer mehr oder minder größern Anzahl von Stößen in ein und demselben Zeitmomente, welche durch die an die Sehe- oder Nervenhaut unseres Auges anstoßenden Atome durch ihre

Schwingungen veranlaßt werden. Je größer die Anzahl der Schwingungen der lichtleitenden Atome in ein und demselben Zeitmomente, also je größer die Anzahl der Stöße der lichtleitenden vibrirenden Atome an die Sehehaut unseres Auges ist, desto heller, lichter, höher ist das Licht, das wir empfinden, — und je geringer die Anzahl der Atomenschwingungen in demselben Zeitmomente ist, desto dunkler, tiefer ist die Farbe, die wir wahrnehmen, — gerade so wie die höhern Töne in einer größern Anzahl von Schallwellen, die unser Ohr in Einem Zeitmomente berühren, und die tiefern Töne in einer geringern Anzahl der die Nervenhaut unseres Ohres in einem eben so großen Zeitmomente berührenden Schallwellen bestehen.

Die deutlichsten und schönsten Farbenbilder werden durch den Reflex von Lichtstrahlen erzeugt, welche durch durchsichtige prismatische Körper gegangen und gebrochen worden sind. Läßt man in einem dunkeln Zimmer durch eine einzige kleine Oeffnung in dem Fensterladen einen Sonnenstrahlenbündel herein, und diesen durch ein Prisma z. B. von Glas hindurch gehen, so kommt an der der Fensterladenöffnung entgegengesetzten Wand, oder an einem den aus dem Prisma tretenden Lichtstrahlen entgegengehaltenen weißen Papierschirm unterhalb der Stelle, an welcher sich das kleine weiße Sonnenbildchen befinden würde, wäre das Prisma nicht im Wege, — ein aus roth, orange, gelb, grün, blau, indigo und violett gefärbtes Bild zum Vorschein. Diese sieben Farben nennt man die prismatischen Farben, auch Regenbogenfarben. Das rothe Ende des Farbenbildes, Spectrums, ist jederzeit der Stelle zugekehrt, an welcher das weiße Sonnenbildchen d erscheinen würde, wenn das Prisma nicht da wäre, die übrigen Farben folgen sich der Reihe nach, wie sie oben aufgezählt wurden, so daß das violette Ende des Spectrums unten, d. h. am weitesten von der Stelle des gedachten ungebrochenen weißen Sonnenbildchens sich befindet. Die rothen Strahlen des Spectrums sind am wenigsten, die violetten Strahlen am meisten von ihrer ursprünglichen



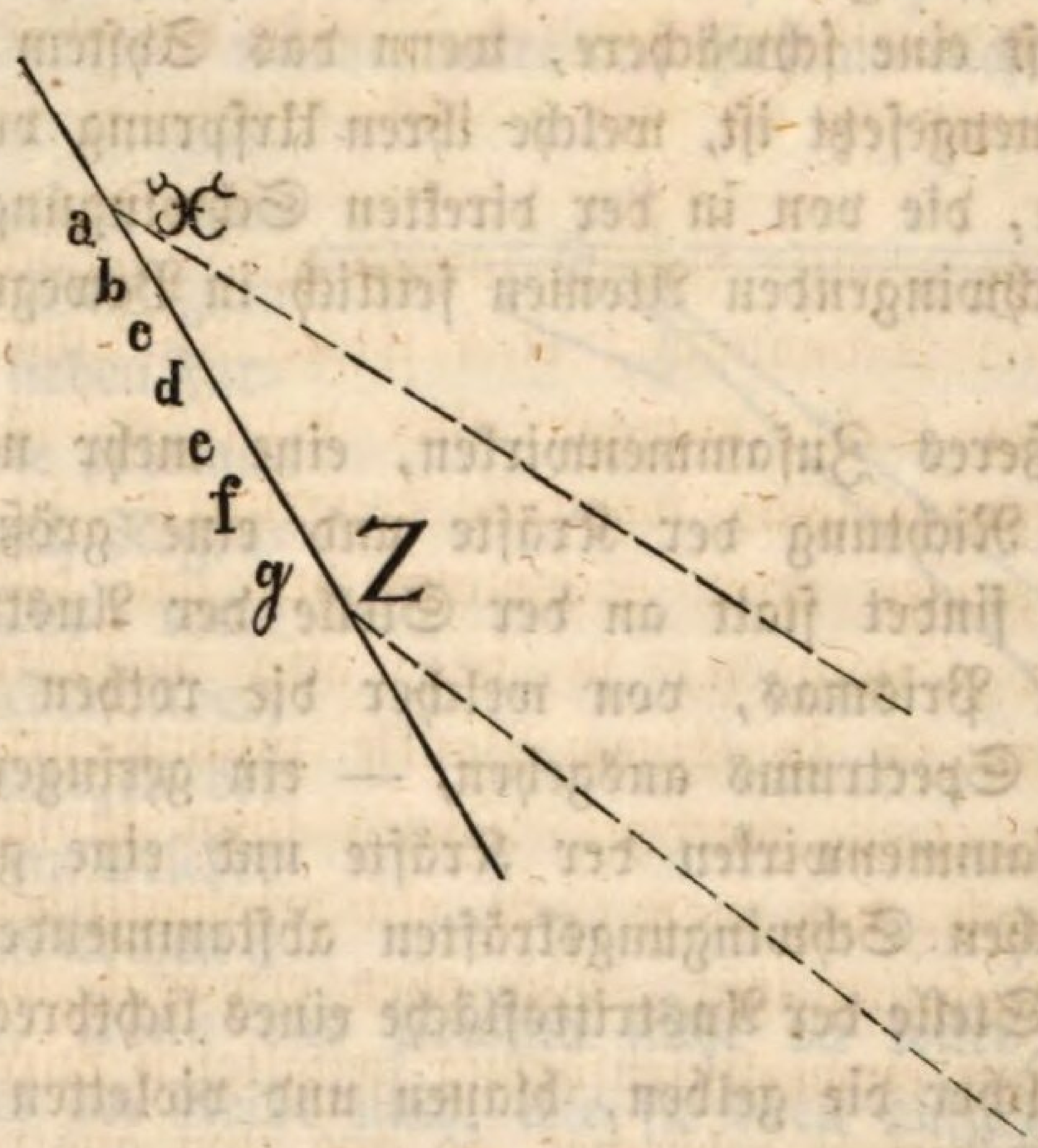
Richtung abgelenkt, — jene sind die am wenigsten, diese die am meisten gebrochenen Lichtstrahlen von den sieben prismatischen Farben. Mit der größern Ablenkung der violetten Strahlen ist auch die größere Verzögerung der Geschwindigkeit der Atomenschwingungen, — mit der geringern Ablenkung die geringere Verzögerung in der Vibrationsbewegung der lichtleitenden Atome verbunden. Da die Geschwindigkeit der Schwungbewegung der Luftatome in den aus dem brechenden Prisma austretenden Farbenstrahlen von der Resultante der Stoßkräfte zweier oder mehrerer in verschiedenen Richtungen schwingender Atome der Austritts- oder Grenzfläche des Prismas abhängt, so müssen die lichtleitenden Luftatome, welche durch eine Resultirende bewegt werden, die aus Kräften von mehr convergirender Richtung zusammengesetzt ist, eine größere Geschwindigkeit in ihrer Schwungbewegung erhalten, als die Luftatome, welche von einer Resultirenden bewegt werden, deren System aus Kräften von weniger convergirender oder divergirender Richtung zusammengesetzt ist.

Ferners ist die Resultirende eine größere Kraft, wenn das System der Kräfte aus solchen zusammengesetzt ist, die ihren Ursprung von schwingenden Atomen haben, welche in der direkten Schwingungsrichtung eines Lichtstrahles schwingen, — und die Resultirende ist eine schwächere, wenn das System der Kräfte aus solchen zusammengesetzt ist, welche ihren Ursprung von schwingenden Atomen haben, die von in der direkten Schwingungsrichtung eines Lichtstrahles schwingenden Atomen seitlich in Bewegung gesetzt worden sind.

Ein größeres Zusammenwirken, eine mehr nach einem Ziel hin wirkende Richtung der Kräfte und eine größere Stärke der Resultirenden findet statt an der Stelle der Austrittsfläche eines lichtbrechenden Prismas, von welcher die rothen Strahlen eines prismatischen Spectrums ausgehen, — ein geringeres, minder einheitliches Zusammenwirken der Kräfte und eine geringere Stärke der aus seitlichen Schwingungskräften abstammenden Resultirenden findet an der Stelle der Austrittsfläche eines lichtbrechenden Prismas statt, von welcher die gelben, blauen und violetten Strahlen eines Prismas abgehen.

Das Grenzatom a des Prismas an der Austrittsfläche hat seine Bewegung von einem in der direkten Lichtleitungslinie gelegenen innerhalb der Grenzfläche befindlichen Nachbaratom erhalten.

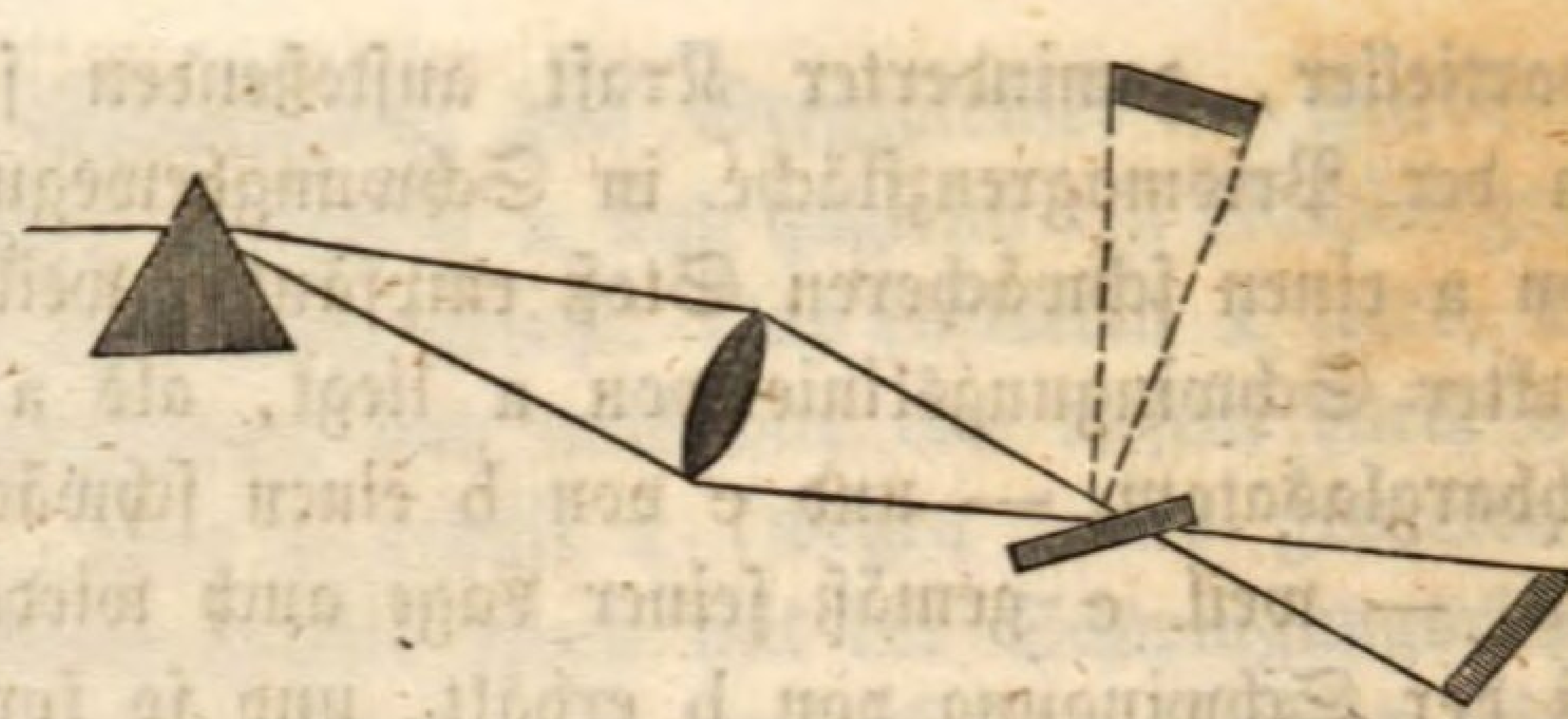
Durch die Schwingung des Grenzatomes a wurde unmittelbar ein anliegendes Luftatom x und zugleich ein Nachbargrenzatom des Prismas in Bewegung gesetzt. Das Luftatom x wird, wie erwähnt, durch a unmittelbar, und mittelbar von diesem durch b in Bewegung gesetzt. Von a erhält x (wegen seines größeren Umfanges) an seiner Einen Hälfte einen mit der Schwingungsrichtung von a zusammenfallenden Stoß, und zugleich von b einen seitlichen, Seitens der Schwingungsrichtung von b abgehenden Stoß. Die Resultante von den Stoßkräften von a und b gibt der Schwingung von x die von der Richtung des im Glas des Prismas gehenden Lichtstrahles abgelenkte Richtung des rothen Strahles, und die Schwungkraft von x ist zugleich eine geringere geworden, als die von a selbst war, weil x von a nicht in seinem Durchmesser, in seiner Axe, getroffen, also die Stoßwirkung von a auf x nicht die volle seyn konnte, wie es bei a, als einem kleineren Atom, das von seinem gleich großen innern Nachbarglasatom bewegt wurde, der Fall ist, — und weil die andere Hälfte von x von b einen schwächeren, nicht in dessen Schwingungsrichtung liegenden, seitlichen Stoß erhalten hat. Daher schwingt x nicht so schnell, als ein Glasatom, und langsamer, als ein Luftatom in dem auf das



Prisma einfallenden Lichtstrahle. Noch weniger stark als x oder die Luftatome in dem rothen Strahl werden die Luftatome in den gelben und blauen Strahlen von den sie in seitlicher Richtung, also

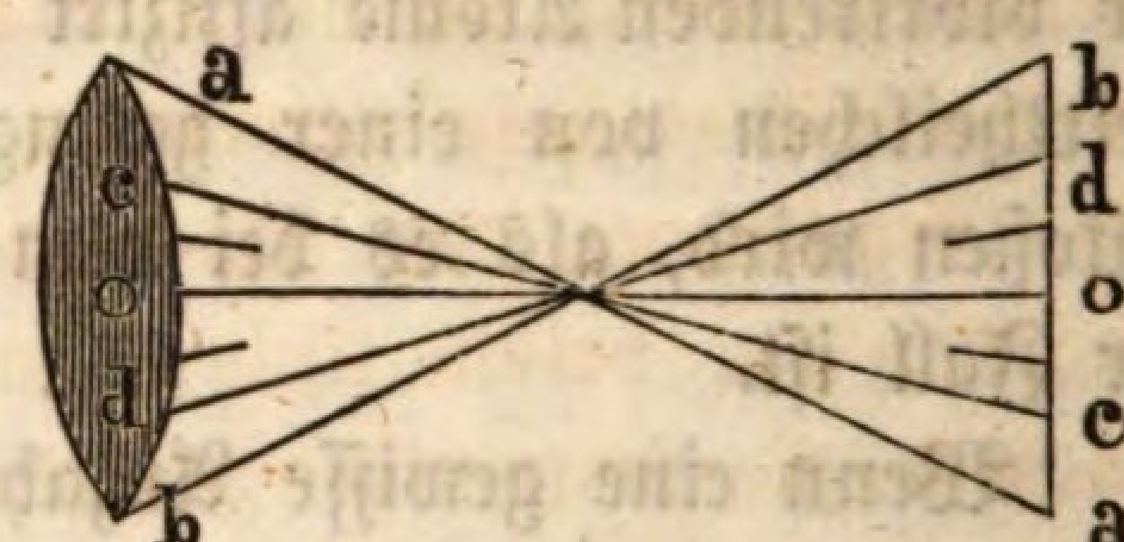
mit nur partieller, geminderter Kraft anstoßenden schwingenden Glasatomen der Prismagrenzfläche in Schwungbewegung versetzt. Wenn b von a einen schwächeren Stoß empfängt, weil eben jenes nicht in direkter Schwingungslinie von a liegt, als a von seinem innern Nachbarglasatom, — und c von b einen schwächeren Stoß, als b von a, — weil c gemäß seiner Lage auch wieder nicht den vollen Stoß der Schwingung von b erhält, und so fort die ferner anliegenden Grenzatome der Prismaaustrittsfläche d, e, f, g einen immer schwächeren Stoß empfangen, jede folgende also schwächer und langsamer schwingt, als die vorhergehende, so wird das Luftatom z, das dem veilchenblauen Strahl angehört, am schwächsten von f und g angestoßen werden, also am langsamsten schwingen, in ein und demselben Zeittheilchen weniger Vibrationen machen, als die zwischen ihm und x gelegenen, den blauen, grünen, gelben, orangen und rothen Strahlen angehörigen Luftatome. Und dieß war es eben, was durch diese Darstellung nachgewiesen werden wollte, daß nämlich die farbigen Lichtstrahlen in einer langsameren, längere Zeit bedürfenden Schwingung der lichtleitenden Atome bestünden, daß unser Auge also eine Farbe wahrnimmt, wenn die Nerven- oder Gefühlshaut unserer Augen von schwächeren Stößen der vibrirenden Atome affizirt wird, wenn sie in ein und demselben Zeittheilchen von einer geringern Anzahl Atomenschwingungen angestoßen wird, als es bei dem reinen, ungebrochenen, weißen Lichte der Fall ist.

Wenn eine gewisse Anzahl langsamer, schwächer schwingender Atome in ihrer Schwingung eine solche Richtung haben, daß die Richtungen der Schwingungen aller derselben in einem gewissen Punkte zusammentreffen, wenn sie congruiren, so werden in dem Vereinigungspunkte ihrer Schwungrichtungen die Atome stärker und schneller schwingen, so daß also mehrere farbige Lichtstrahlen, wenn sie in Einem Punkte zusammentreffen, in diesem Punkte heller, weiß werden. Dieses kann künstlich bewerkstelligt werden, dadurch, daß man z. B. ein prismatisches Farbenbild auf eine Glaslinse fallen läßt. Wie oben erwähnt, werden die Strahlen, welche auf einen linsenförmig gestalteten durchsichtigen Körper auffallen, von diesem gebrochen, so aus ihm austreten, daß sie alle in einem bestimmten Punkte (Brennpunkte) vereinigt werden. In diesem Punkte, wenn man die Lichtstrahlen hier mit einem Schirme auffängt, erscheint nun — statt der sieben Regenbogenfarben —



der Reflex als ein blendend weißes Licht. Die in diesem Punkt vereinigte Atomenschwungkraft der rothen, orangegelben, gelben, grünen, hell-, dunkel- und veilchenblauen Lichtstrahlen hat eine solche Stärke erhalten, die Resultirende der Kräfte der sieben verschieden schnell schwingenden Atomenreihen ist gleich geworden der Stärke und Geschwindigkeit, mit welcher Atome schwingen, welche die Empfindung des weißen Lichtes auf der Sehhaut unseres Auges hervorbringen.

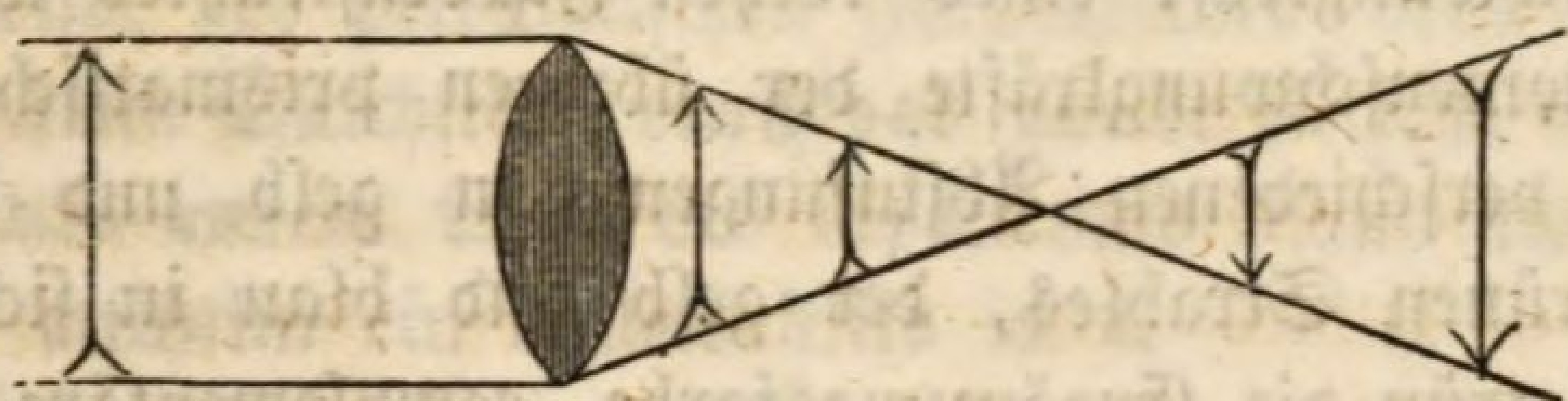
Der Vereinigungspunkt der von einer Glaslinse (Sammellinse) gebrochenen und aus ihr getretenen Lichtstrahlen ist aber eigentlich nur der Kreuzungspunkt für die aus der Linse getretenen Lichtstrahlen. Denn von diesem hinweg geht die Lichtleitung nicht in Einer einzigen Linie, gleich breit dem Vereinigungspunkt, sondern die Lichtstrahlen oder, genauer gesagt, die Fortleitung der Lichtstoßbewegung und der Atomenschwingungen setzen die Richtung, welche sie durch die Brechung in der Glaslinse erlangt haben, ebenso fort,



wie zwei Wasserwellen, welche sich begegnen. Die rothen Strahlen also, welche von dem obern Rand der vordern Fläche der Linse aufgefangen wurden und aus dem obern Rande der hintern Fläche derselben ausgetreten waren, befinden sich nach dem Durchgang durch den Kreuzungs- oder Vereinigungspunkt sämmtlicher sieben farbigen Strahlen, werden sie an einem Schirm aufgefangen, am untersten Ende des Farbenbildes, und die blauen Strahlen, welche von dem untern Rand der vordern Fläche der Glaslinse aufgefangen wurden, und aus dem untern Rande der hintern Fläche derselben ausgetreten waren, befinden sich an dem obersten Ende des Farbenbildes. Ein durch eine Sammellinse aufgefangenes und aus ihr ausgetretenes prismatisches Farbenbild zeigt in einiger Entfernung von dem Kreuzungspunkt der Strahlen von einem Schirm aufge-

fangen die Farben in umgekehrter Reihenfolge, statt eines roth, orangegelb, grün, hellblau, dunkelblau und veilchenblau gefärbten ein veilchenblau, dunkelblau, hellblau, grün, gelb, orange und roth gefärbtes Reflexbild.

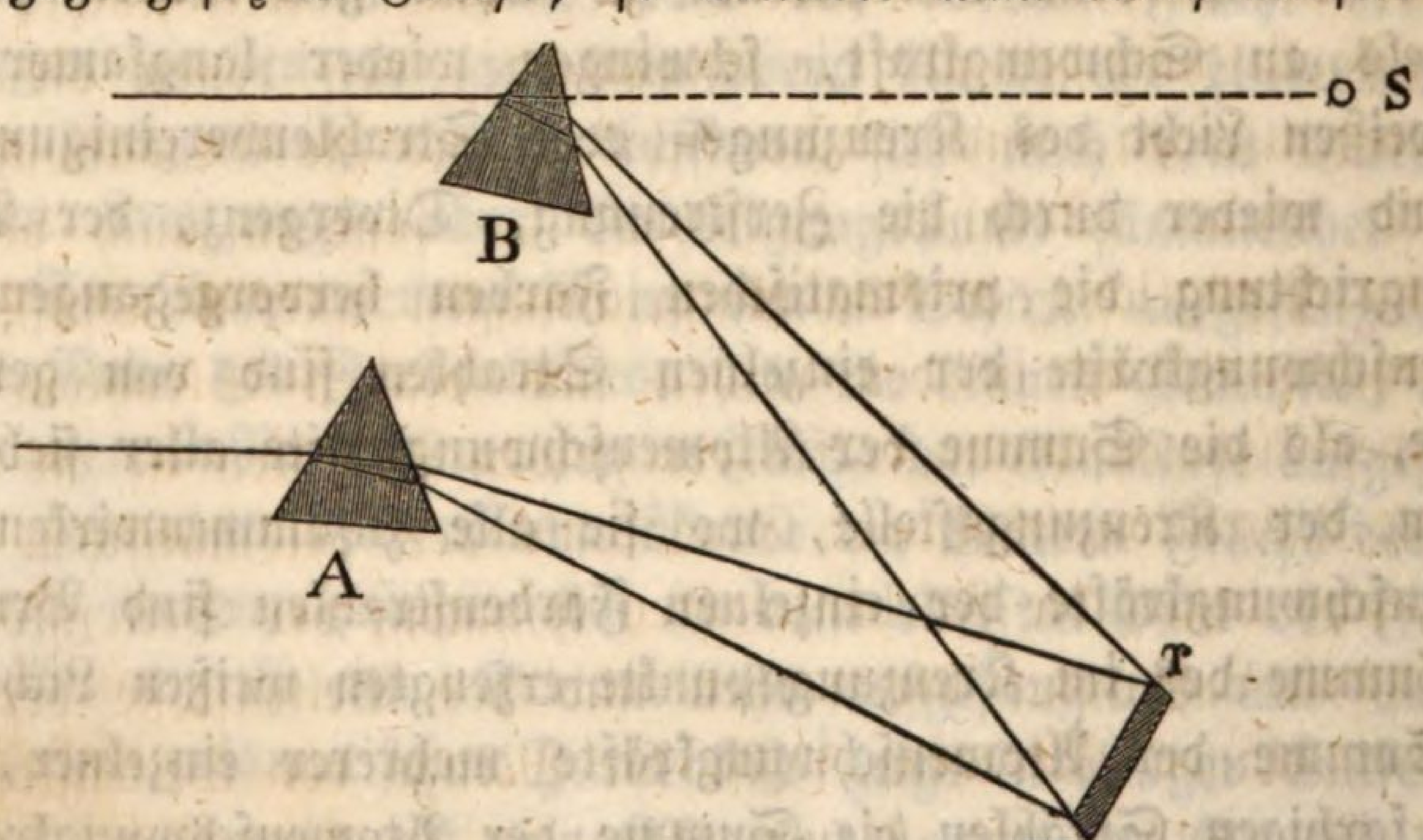
Es ist hier die Gelegenheit zu bemerken, und nach dem oben Erläuterten die Nothwendigkeit leicht einzusehen, daß ein Gegen-



stand, welcher seine Lichtstrahlen auf eine Sammellinse wirft, in einer gewissen Entfernung von dem Kreuzungspunkt der gebrochenen und ausgetretenen Strahlen jenseits des Kreuzungspunktes dieser ein verkehrtes Bild auf einen Spiegel abwerfen wird. Deßgleichen ist leicht einzusehen, daß, je näher dem Kreuzungspunkt der Auffangschirm, Spiegel oder unser Auge sich befindet, ein desto kleineres, — je entfernter der Spiegel oder unser Auge sich befindet, ein desto größeres Bild bemerkt wird, — ein in derselben Stellung wie der Gegenstand sich befindliches Bild zwischen Linse und dem Kreuzungspunkt, ein umgekehrtes — jenseits des Kreuzungspunktes der durch die Linse getretenen Strahlen des Gegenstandes.

Ergänzung der Atomenschwungkraft (complementäre Farben). Nachdem die prismatischen Farbenstrahlen den Kreuzungspunkt, in welchem sie vereinigt zusammen ein weißes Licht gegeben, verlassen haben, befinden sich die die fernere Lichtfortleitung besorgenden Luftatome in dem Zustande des ihnen bei dem Lichtstrahlenaustritt aus dem Glasprisma zu Theil gewordenen partiellen Mangels an Schwungkraft, schwingen wieder langsamer. Aus dem weißen Licht des Kreuzungs- oder Strahlenvereinigungspunktes sind wieder durch die Zerstreuung, Divergenz, der Atomenschwungrichtung die prismatischen Farben hervorgegangen. Die Atomenschwungkräfte der einzelnen Strahlen sind von geringerer Stärke, als die Summe der Atomenschwungkräfte aller sieben Farben in der Kreuzungsstelle, wo sie alle zusammenwirken. Die Atomenschwungkräfte der einzelnen Farbenstrahlen sind Bruchtheile der Summe des im Kreuzungspunkte erzeugten weißen Lichtes. Zu der Summe der Atomenschwungkräfte mehrerer einzelner, z. B. dreier farbigen Strahlen die Summe der Atomenschwungkräfte der

übrigen vier farbigen Strahlen addirt, gibt wieder die Summe der Atomenschwungkräfte sämmtlicher sieben Farben, welche gleich kommt der Stärke der Atomenschwungkraft des weißen Lichtes. Der Mangel an Atomenschwungkraft Einer oder mehrerer einzelner Farben wird ergänzt durch die Atomenschwungkraft der übrigen von den sieben prismatischen Farben, welche nicht bei den ersteren sich befinden. Die Atomenschwungkraft eines rothen Farbenstrahles wird ergänzt durch die Atomenschwungkräfte der übrigen prismatischen Farben, nämlich der verschiedenen Abstufungen von gelb und blau, oder eines stark grünen Strahles, der gelb und blau in sich vereinigt. Es ist daher grün die Ergänzungsfarbe, complementäre Farbe von roth, und umgekehrt roth die Ergänzungsfarbe von grün, — weil beider Atomenschwungkräfte vereinigt weißes Licht geben. Von einem aus roth und blau gemischten Farbenton ist gelb die complementäre Farbe, denn gelb und roth gibt orange, gelb und blau gibt grün, — und in den Farbenstrahlen von roth, rothgelb (orange), gelb, gelbblau (grün), blau (hell- und dunkelblau) und blauroth befindet sich die Summe der Atomenschwungkräfte, welche weißes Licht als Reflex geben. Experimentell läßt sich die Wahrheit der Farbenergänzung nachweisen durch den von Newton angegebenen Versuch, die in einem dunkeln Raum durch Auffallen eines weißen Lichtstrahles auf ein Glasprisma, durch Brechung und Austretung derselben aus dem Prisma erzeugten prismatischen sieben Farben mittels eines Spiegelschirmes aufzufangen, und ein zweites Glasprisma so aufzustellen, daß die von dem Spiegel reflektirten sieben Farben von dem zweiten Prisma aufgefangen werden. Sieht man durch das zweite Prisma an der der Einfallsebene der sieben reflektirten Farben entgegengesetzten Fläche, so bemerkt man durch dasselbe statt



farbigen Lichts ein weißes Licht, als wie ein unmittelbar auf die entgegengesetzte Wand gefallenes weißes Licht. Fängt man aber mittels des Spiegelschirmes r v nicht alle, sondern nur einen Theil der sieben prismatischen Farben auf, so wird nur dieser Theil auf das zweite Prisma fallen, und man bemerkt beim Durchsehen durch dieses statt eines weißen ein farbiges Lichtbild. Fängt man z. B. das rothe Ende des prismatischen Farbenbildes vom Gelb an auf, so erscheint beim Durchsehen durch das zweite Prisma ein gelbes, — fängt man das andere Ende des Spectrums blau, indigo und violett auf, so erscheint ein blaues Bild in s.

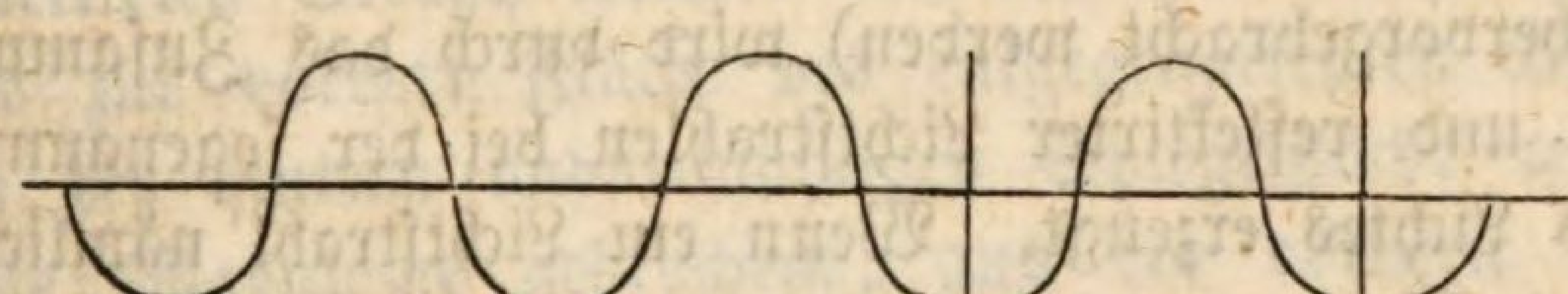
Aus diesem Experimente ist deutlich zu ersehen: 1) daß die Vereinigung der Atomenschwungkräfte sämmtlicher sieben Farbenstrahlen gleich kömmt der Stärke des weißen Lichtstrahles, — 2) daß die Vereinigung der Atomenschwungkräfte der beiden rothen und gelben Farbenstrahlen gleich kömmt der Stärke eines gelben Strahles, — und daß 3) die Vereinigung der Atomenschwungkräfte der hellblauen, dunkelblauen und veilchenblauen Strahlen gleich kömmt der Stärke der Atomenschwungkräfte des blauen Strahles.

Wir haben oben auseinanderzusetzen gesucht, wie die farbigen Strahlen in langsameren Atomenschwingungen ihren Grund haben, und daß die Luftatome in den blauen Strahlen langsamer schwingen, als die Luftatome in den rothen Strahlen. Die gelben Strahlen aber scheinen ihren Grund in Atomenschwingungen zu haben, welche eine größere Geschwindigkeit zeigen, als jene in den rothen oder blauen Strahlen. Die gelben Strahlen befinden sich nämlich zwischen den rothen und blauen Strahlen. Die Luftatome, welche in den gelben Strahlen schwingen, erhalten ihre Schwungkraft nicht nur von dem Stoß der Glasatome der Prismaaustrittsfläche, welche minder stark schwingen als die Glasatome, von denen die rothen Strahlen entstehen, und minder schwach als die Glasatome, von denen die blauen Strahlen entstehen, — sondern auch von den seitlichen, bezüglich der Schwungrichtungen queren Stößen der schwingenden Atome in den rothen und blauen Strahlen. Die Stärke der Atomenschwungkräfte der gelben Strahlen ist die Resultante der Vibrationsstöße der Glasatome des prismatischen Glaskörpers, aus denen die Farbenstrahlen kommen, der Seitenstöße der schwingenden Luftatome der rothen und der Seitenstöße der Luftatome der blauen Strahlen. Ist die Menge der Seitenstoßkräfte zwischen den rothen und blauen Strahlen so bedeutend, daß die

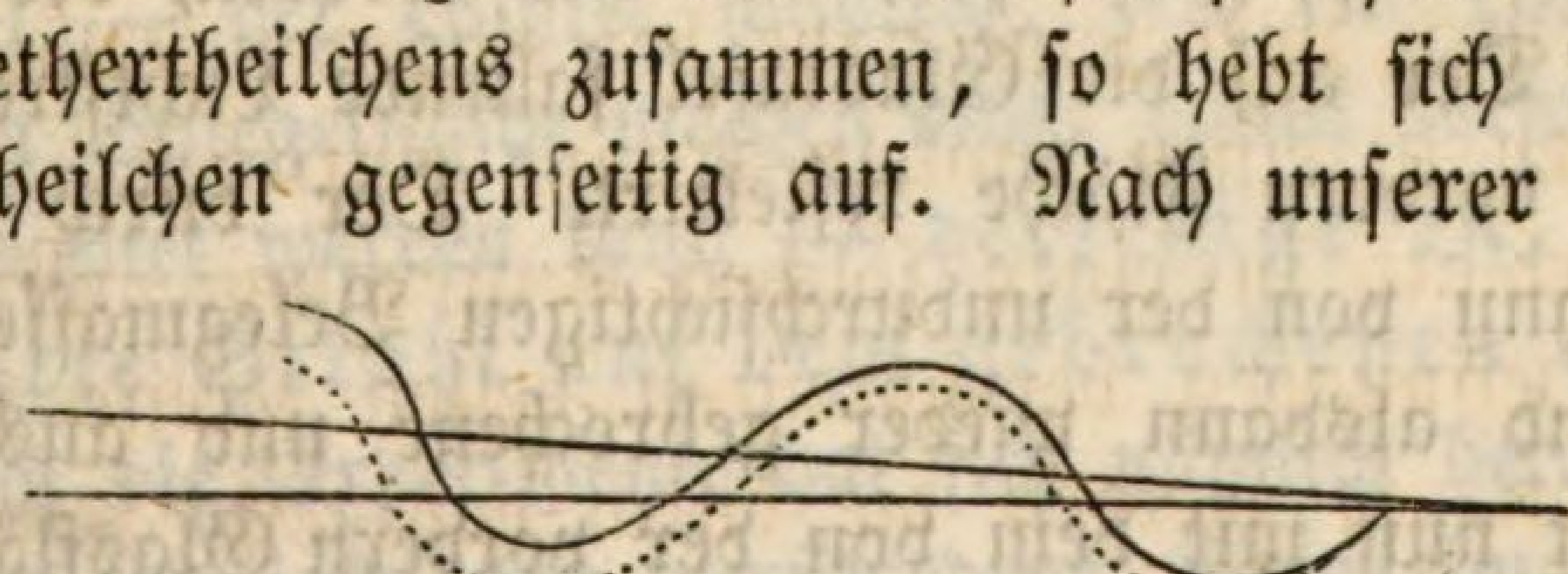
Resultante die Größe der Schwungkraft der Atome des weißen Lichtstrahles erreicht, so erscheint, betrachtet man einen leuchtenden Gegenstand von einiger Ausdehnung durch ein Glasprisma, zwischen den rothen und den blauen Strahlen ein weißer Lichtstrahl, — eine weiße Fläche, auf einer, der obern Seite mit rother, auf der andern, untern Seite mit blauer Einfassung. Dieses ist der Fall, wenn die Stöße der nachbarlichen schwingenden Atome der rothen und blauen Strahlen die zwischen beiden liegenden schwingenden Atome in solcher Richtung treffen, daß die Schwingungen der Atome in den mittleren (gelben) Strahlen beschleunigt werden, wenn nämlich die Seitenstöße die schwingenden Atome in einer mit ihrer Schwingungsrichtung wie möglich einen spitzen Winkel bildenden Richtung treffen. Je stumpfer der Winkel ist, unter welchem die Seitenstöße die schwingenden Atome des mittlern Strahles treffen, desto weniger hell erscheint dieser. Ist es nun der Fall, daß die Seitenstöße der Schwingungen der seitlichen Nachbaratome die eben schwingenden Atome in einer Richtung treffen, welche mit der Richtung der Schwingung der Atome einen rechten Winkel bildet, so wird die Schwingungsbewegung letzterer aufgehoben, und es erscheint an der entsprechenden Stelle des Auffangschirmes oder der Wand kein Reflex eines vibrirenden Luftatomes, kein Lichtbild, sondern ein von Bewegung freier Raum, eine Dunkelheit, ein Schwarz. Solche dunkle, schwarze Stellen entdeckt man in einem prismatischen Spectrum, welches durch einen sehr kleinen Lichtstrahl, den man durch einen äußerst feinen Spalt auf ein im dunkeln Raum aufgestelltes Prisma auffallen läßt, erzeugt wurde, — oder mittels eines Vergrößerungssehglases, mit dem man ein Spectrum betrachtet. — Sie erscheinen dann als dunkle, schwarze Streifen oder Linien, — die Fraunhofer'schen Linien genannt, da sie Fraunhofer beinahe zu gleicher Zeit wie Wollaston entdeckte, und aber genauer untersucht hat.

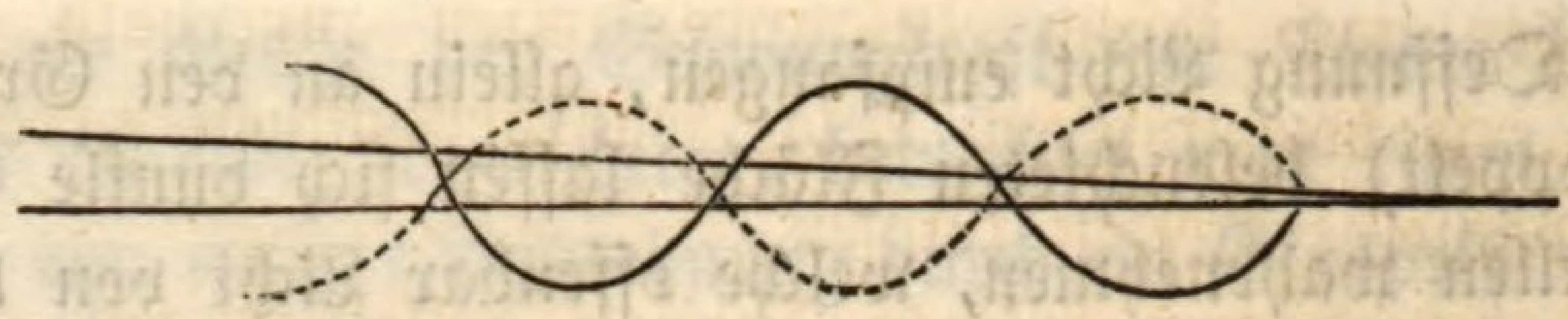
Die Wirkung von Dunkelheit durch das Zusammentreffen zweier Lichtstrahlen hat Grimaldi durch folgenden Versuch zuerst entdeckt: Wenn man durch zwei feine nahe bei einander stehende Oeffnungen Sonnenstrahlen in einen dunkeln Raum eintreten läßt und sie auf einem Papierblatt in einer solchen Entfernung auffängt, daß die von beiden Oeffnungen herrührenden hellen Kreise theilweise über einander fallen, so werden die durch das Licht beider Oeffnungen erleuchteten Stellen allerdings heller als die Stellen, welche nur

von einer Oeffnung Licht empfangen, allein an den Grenzen dieser stärker (doppelt) beleuchteten Fläche lassen sich dunkle Streifen an solchen Stellen wahrnehmen, welche offenbar Licht von beiden Oeffnungen empfangen. Diese dunkeln Streifen verschwinden alsobald, als man eine der beiden Oeffnungen, durch welche das Licht einfällt, zuhält. Diese gegenseitige Einwirkung der Lichtstrahlen, daß sie nicht immer zur Verstärkung der Beleuchtung beitragen, sondern unter gewissen Umständen sich gegenseitig vernichten können, wurde von Young mit dem Namen Interferenz belegt. Fresnel hat die Erscheinung von dunkeln Stellen inmitten doppelt beleuchteter Flächen durch zwei in einem stumpfen Winkel von nur etwas weniger als 180 Graden zusammenstoßende ebene Metallspiegel, in denen sich ein leuchtender Punkt abspiegelt, hervorzubringen erfunden. Die Reflexe dieser beiden Bilder von dem leuchtenden Punkt an diesen vertikal aufgestellten Spiegeln treffen in einiger Entfernung von denselben zusammen und man bemerkt an einem dort auffangenden Schirm abwechselnd helle und dunkle vertikale Streifen. Nach unserer Ansicht wird der dunkle Streifen zwischen je zwei hellen durch Aufhebung der Luftatomenschwingung in Folge der Seitenstöße, welche von den Atomenschwingungen der zwei hellen Strahlen ausgehen, hervorgebracht. Die Anhänger der Undulationstheorie betrachten diesen Fresnel'schen Spiegelversuch als ein Fundament für ihre Theorie, da die Interferenzerscheinungen durch die



Emanationstheorie nicht zu erklären ist. Die Lichtätherteilchen vibriren nach dieser Theorie ähnlich wie die Schall- und die Wasserwellen, und vorstellungsweise rechtwinkelig auf einer geraden Linie. Wenn nun die Wellenberge zweier vibrirender Lichtätherteilchen zusammentreffen, so erhöhen sie die Intensität der Beleuchtung, trifft aber ein Wellenberg des einen Aethertheilchens mit dem Thal des andern Aethertheilchens zusammen, so hebt sich die Vibration beider Aethertheilchen gegenseitig auf. Nach unserer Atomenvibra-





tionstheorie heben sich in entgegengesetzter Richtung auf einander stoßende vibrirende Atome so wenig auf, als zwei Wasserwellen, die von entgegengesetzter Richtung her und nach entgegengesetzter Richtung hin sich bewegen, sondern nach unserer vorausgeschickten Theorie über Aufhebung einer schwingenden Bewegung im Allgemeinen wird die Vibrationsbewegung eines lichtleitenden Atomes nur dann aufgehoben, vernichtet, wenn ein von einem benachbarten schwingenden Atom herrührender Stoß das andere schwingende Atom unter einem rechten Winkel seiner Schwingungsrichtung trifft. Nach unserer Theorie schwingen sich oder vibriren die lichtleitenden Atome in der Richtung des Lichtstrahles (mit Abrechnung des brechenden Einflusses anderer Kräfte, z. B. der Schwer- oder Cohäsionskraft), — nach der Undulationstheorie quer und zwar rechtwinkelig zu der Richtung des Lichtstrahles.

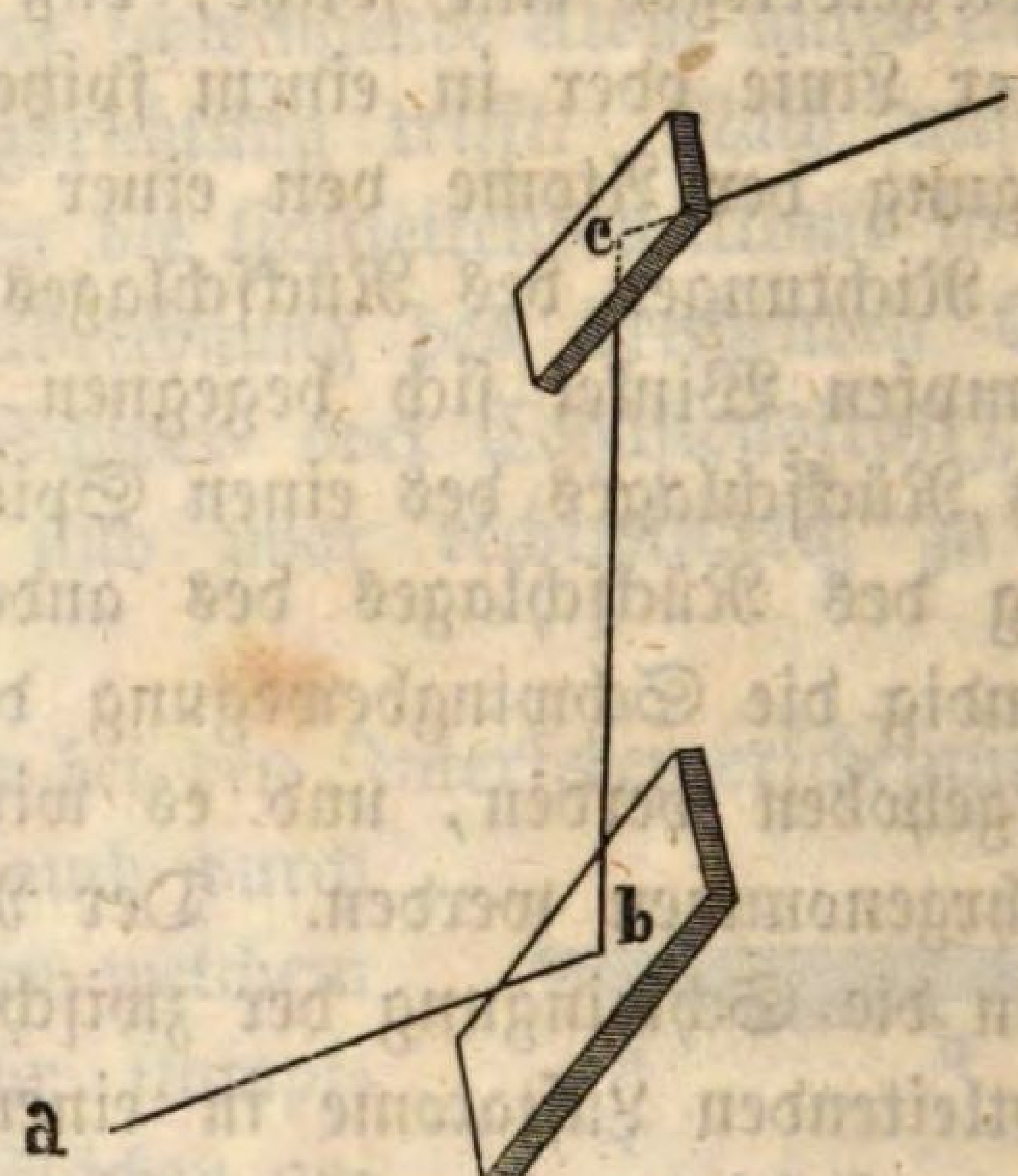
Eine ähnliche Verdunklung wie bei den Interferenzerscheinungen (welche statt durch zwei Spiegel auch durch Pouillet's Interferenzprisma, an welchem die brechende Kante aus zwei sehr stumpfwinkelig von einander laufenden Flächen gebildet ist, hervorgebracht werden) wird durch das Zusammentreffen gebrochener und reflektirter Lichtstrahlen bei der sogenannten Polarisation des Lichtes erzeugt. Wenn ein Lichtstrahl nämlich auf ein durchsichtiges Medium mit einer undurchsichtigen Hinterfläche fällt (z. B. auf eine Glastafel, deren hintere Fläche mit einem undurchsichtigen Stoff, Quecksilber, belegt ist, d. i. ein gewöhnlicher Glasspiegel), so wird der Lichtstrahl erstens von der durchsichtigen Glasmasse gebrochen, und gebrochen an der undurchsichtigen Hinterlage angelangt von dieser reflektirt, und tritt alsdann, reflektirt und abermals durch die Glasmasse gebrochen, aus der vordern, der Einfallsfläche, wieder aus. Der auf die Glastafel fallende Lichtstrahl wird zweitens von der vordern Fläche reflektirt. Der durch die Glasmasse gebrochene, dann von der undurchsichtigen Belegmasse des Spiegels reflektirte, und alsdann wieder gebrochene und austretende Lichtstrahl A trifft nun mit dem von der vordern Glasfläche reflektirten Strahl B zusammen. Beide reflektirten Strahlen A und B können



nun bei oder nach ihrem Zusammentreffen außerhalb der vordern Glasfläche erst von unserem Auge wahrgenommen werden, weil sie erst dann dasselbe treffen können.

Steht nun einem solchen doppelt reflektirenden Spiegel ein zweiter doppelt reflektirender Spiegel gegenüber, so wird die lichtleitende Schwungbewegung der zwischen beiden undurchsichtigen Spiegelbelegflächen befindlichen Glas- und Luftatome von der reflektirenden, rückschlagenden Kraft der Spiegelbelege mit unterhalten. Der Reflex oder Rückschlag des einen Spiegelbeleges wirkt dem Reflex oder Rückschlag des andern Spiegelbeleges entgegen. Ist nun die Richtung des Reflexes oder Rückschlages des einen Spiegelbeleges eine solche, daß sie dem Rückschlag des andern in einer Linie oder in einem spitzen Winkel begegnet, so ist die Bewegung der Atome von einer größern Geschwindigkeit, als wenn die Richtungen des Rückschlages beider Spiegelreflektoren in einem stumpfen Winkel sich begegnen würden. Steht aber die Richtung des Rückschlages des einen Spiegelbeleges rechtwinkelig zur Richtung des Rückschlages des andern Spiegelbeleges, so muß nothwendig die Schwingbewegung der zwischen beiden liegenden Atome aufgehoben werden, und es wird an den Spiegeln kein Lichtreflex wahrgenommen werden. Der Reflexstrahl von den Spiegelbelegen kann die Schwingung der zwischen beiden Spiegeln sich bewegenden lichtleitenden Luftatome in einem rechten Winkel treffen, wenn zu dem reflektirten Strahl, welcher von der vordern Fläche des Einen Spiegels zur vordern Fläche des entgegengesetzten Spiegels geht, der von der hintern undurchsichtigen Spiegelfläche reflektirte und durch die Glasatome gebrochene, aus der vordern Spiegelfläche austretende Strahl einen rechten Winkel bildet. Der Winkel, welchen der auf die vordere Spiegelfläche einfallende und von dem Glas gebrochene Lichtstrahl mit dem von der hintern Spiegelfläche reflektirten und abermals gebrochenen Lichtstrahl macht, ist bei der geringen Dicke eines Spiegels sehr klein, so daß man nicht viel in der Berechnung fehlt, wenn man annimmt, daß der Polarisationswinkel — der Winkel nämlich, den ein einfallender Lichtstrahl mit der Spiegelfläche machen muß, damit derselbe am zweiten Spiegel vernichtet werden kann — derjenige ist, für welchen der reflektirte Strahl auf dem gebrochenen rechtwinkelig steht. Durch die Experimente hat sich nämlich herausgestellt, daß der Polarisationswinkel für verschiedene Spiegelmassen auch ver-

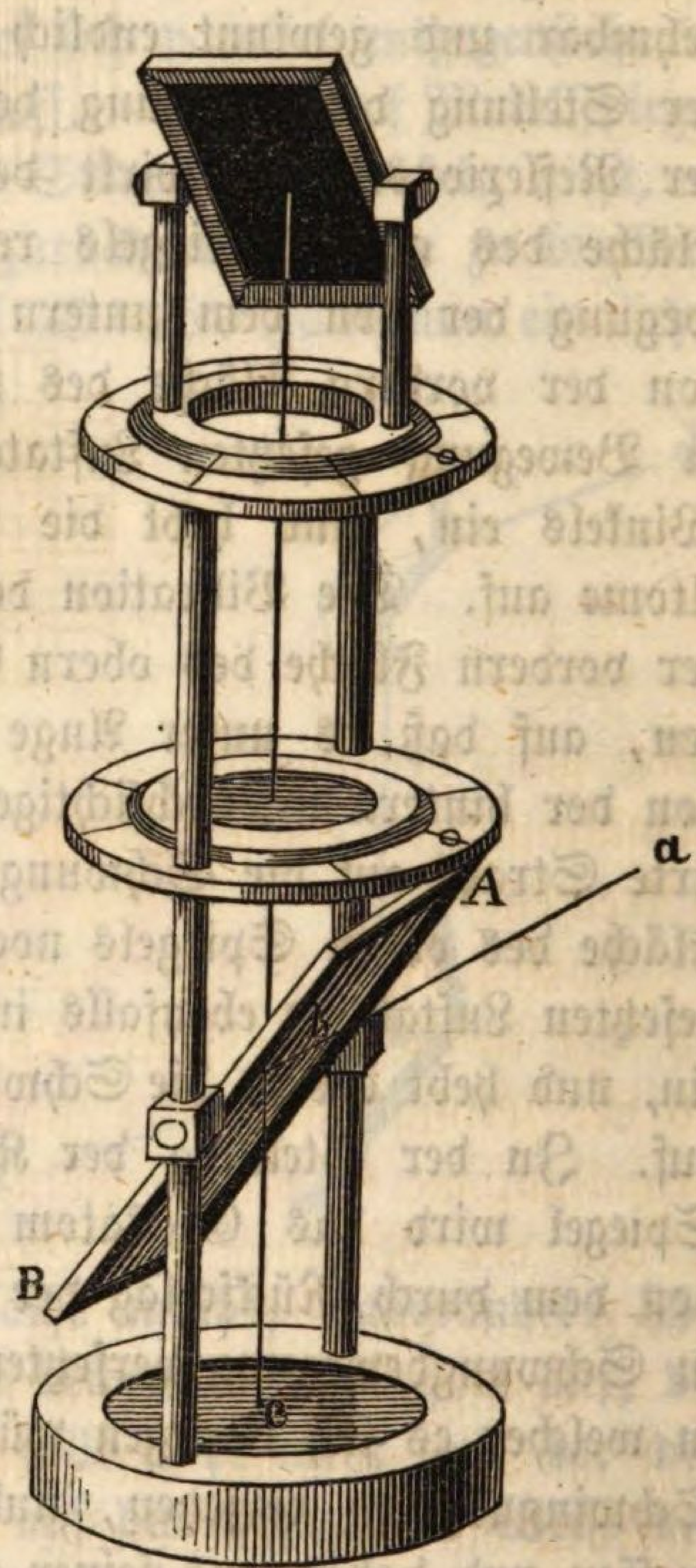
schieden ist, und Brewster ist durch Vergleichung der Resultate davon zu dem eben angeführten Gesetze geführt worden. Die Eigenschaft eines reflektirten Lichtstrahles, unter gewissen Verhältnissen zu verdunkeln, ist von Malus 1811 bei Gelegenheit des Drehens seines Rasirspiegels, auf welchen ein vom gegenüberstehenden Haus reflektirter Lichtstrahl gefallen, entdeckt worden. Ein jeder Polarisationsapparat hat zur Grundlage zwei sich parallel entgegenstehende Spiegel aus einem lichtbrechenden Stoff, — denn auf Metallspiegel unter gleichen Verhältnissen reflektirte Strahlen verdunkeln nicht, — aus dem Grunde, weil sie das Licht zurückwerfen, ohne zu brechen. Für Glas ist der Polarisationswinkel 35° 25′. Fällt nun ein Lichtstrahl a b auf einen Glasspiegel unter einem Winkel von 35° 25′, so wird er in der Richtung b c auf den ihm parallel gegenüberstehenden zweiten Spiegel geworfen, von welchem zweiten er wieder in der Richtung c d reflektirt wird, wie jeder andere Lichtstrahl. Wird jedoch der obere Spiegel so gedreht, daß die Richtung des Strahles b c die Umdrehungsaxe bildet, so bleibt zwar der Winkel, welchen der einfallende Strahl b c mit der Spiegelfläche macht, unverändert 35° 25′, — allein der Parallelismus der beiden Spiegel hört auf, die Reflexionsebene des obern Spiegels fällt nicht mehr mit der des untern zusammen. Dreht man nun auf die angegebene Weise den obern Spiegel aus der Lage des Parallelismus mit dem untern heraus, so wird die Intensität des zum zweitenmale reflektirten Strahles um so mehr abnehmen, je mehr der Winkel wächst, den die Reflexionsebene des obern Spiegels mit der des untern macht, bis der Winkel 90° geworden ist, d. i. bis die Reflexionsebenen beider Spiegel sich unter einem rechten Winkel kreuzen. Bei dieser Stellung wird der Strahl b c von dem obern Spiegel gar nicht mehr reflektirt. Bei weiter fortgesetzter Drehung des obern Spiegels nimmt die Intensität des reflektirten Strahles allmählig wieder zu, bis sie wieder ihr Maximum erreicht, wenn die ganze Drehung 180° beträgt. In dieser Stellung fallen die Reflexionsebenen der



beiden Spiegel abermals zusammen. Dreht man noch weiter, so wird der vom obern Spiegel reflektirte Strahl wieder schwächer und verschwindet ganz, wenn die Reflexionsebenen beider Spiegel wieder gekreuzt sind, also bei einer Drehung von 270°. Bei fortgesetzter Drehung bis zum Winkel von 360° oder Nullgrad wird allmählig an dem obern Spiegel das Reflexionslicht wieder wahrnehmbar und gewinnt endlich seine volle Intensität wieder. In der Stellung der Kreuzung der beiden Reflexionsspiegel und also der Reflexionsebenen wirkt der von der hintern undurchsichtigen Fläche des obern Spiegels reflektirte Strahl auf die Schwungbewegung der von dem untern Spiegel durch den einfallenden und von der vordern Fläche des untern Spiegels reflektirten Lichtstoß in Bewegung gesetzten Luftatome in der Richtung eines rechten Winkels ein, und hebt die Schwungbewegung der lichtleitenden Atome auf. Die Vibration der Atome, das Licht, kann also von der vordern Fläche des obern Spiegels nicht mehr fortgeleitet werden, auf daß es unser Auge trifft. In gleicher Weise wirkt der von der hintern undurchsichtigen Fläche des untern Spiegels reflektirte Strahl auf die Schwungbewegung der etwa von der vordern Fläche des obern Spiegels noch ausgeübten Reflexion in Bewegung gesetzten Luftatome ebenfalls in der Richtung eines rechten Winkels ein, und hebt ebenso die Schwungbewegung der lichtleitenden Atome auf. In der Stellung der Kreuzung der Reflexionsebenen beider Spiegel wird das Glasatom der vordern Fläche eines Spiegels von dem durch Rückschlag der hintern undurchsichtigen Spiegelfläche in Schwungbewegung versetzten Nachbaratom quer zu der Richtung, in welcher es sich bewegen würde, um das anliegende Luftatom in Schwingung zu versetzen, und den Lichtreflex fortzuleiten, — getroffen und daher aus seiner Schwingungsebene gebracht und dadurch wird seine Schwingung unterbrochen, aufgehoben. In der Stellung des Parallelismus der Reflexionsebene der beiden Spiegel fällt die Richtung der Schwingung des von dem Rückschlag der hintern undurchsichtigen Spiegelfläche in Bewegung versetzten Nachbarglasatomes in die Richtung, in der sich das Grenzglasatom bewegt, um den Lichtreflex zu dem anliegenden Luftatom fortzuleiten, und verstärkt also die Schwungkraft desselben. In der Stellung der beiden Spiegel zwischen dem Parallelismus und der Kreuzung der Reflexionsebenen trifft die Richtung des von der hintern undurchsichtigen Spiegelfläche reflektirten Strahles mit der Richtung

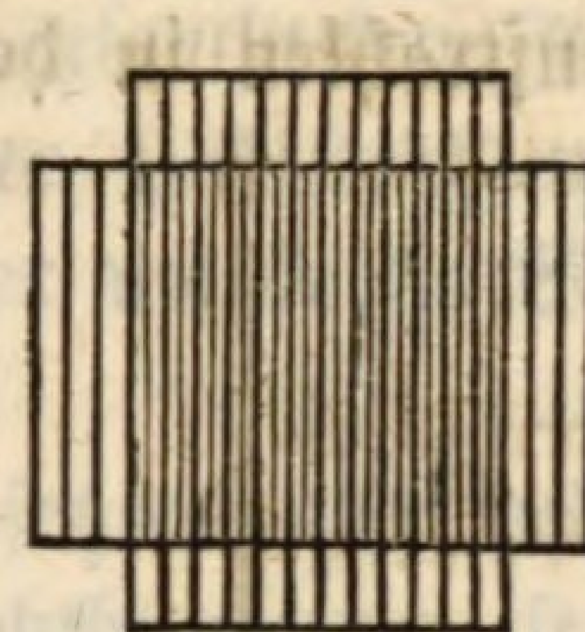
der Bewegung des an der Reflexionsstelle der vordern Spiegelfläche sich befindlichen Glasatomes in einem Winkel zusammen, — in einem kleinern, nahe der Stelle des Parallelismus, in einem größern Winkel nahe der Stelle der Kreuzung. In der Nähe von jenem ist das reflektirte Licht intensiver, in je größerer Nähe der Kreuzungsstelle desto schwächer.

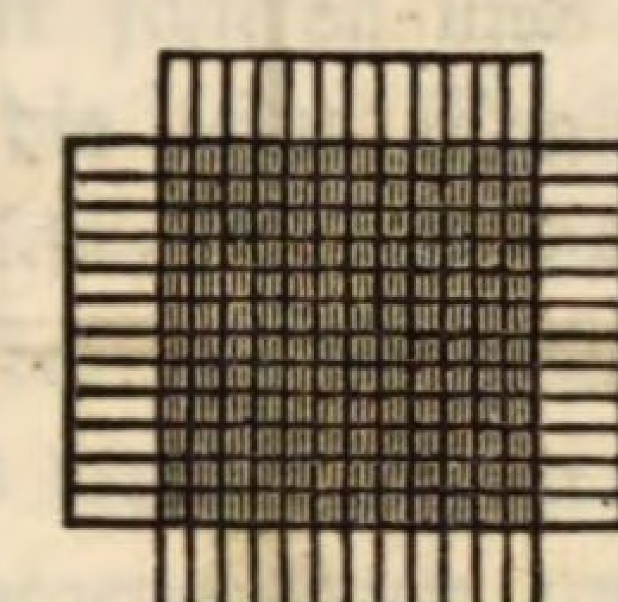
Anmerkung. In nebenanstehender Zeichnung ist Nörenberg's Polarisationsapparat abgebildet. Die beiden Spiegel sind um ihre Queraxe verstellbar, so daß sie mit der Vertikale in jede beliebige Winkellage gebracht werden können. Der obere Spiegel ist auf einem eigenen Gestell mit diesem um die Längenaxe des Apparates verdrehbar, und unter ihm auf dem Hauptgestell ein eingetheilter Winkelcirkel angebracht. Des untern Spiegels oder vielmehr Glasplatte rückseitige undurchsichtige Reflexwand ist etwas entfernt von ihm auf dem Boden des Gestelles angebracht, eine Vorrichtung, welche das Einfallen eines Lichtstrahles erleichtert. Die Spiegel sind auf der Abbildung in der Kreuzungsstellung, — und der Lichtstrahl a b, welcher unter einem Winkel von 35° 25′ auf die Glasplatte A B einfällt, wird in der Richtung b c reflektirt, trifft in vertikaler Richtung den auf dem Boden sich befindlichen Reflexspiegel, und wird von diesem in eben derselben vertikalen Richtung zurückgeworfen, geht durch die Glasplatte hindurch, und gebrochen aus dieser zu dem obern Spiegel hinauf, denselben gemäß seiner Stellung auch in einem Winkel von 35° 25′ treffend. Es ist wegen der Kreuzungsstellung also kein Lichtreflex auf dem obern Spiegel wahrzunehmen.



Legt man zwei parallel mit der Axe geschnittene Turmalinplatten so auf einander, daß ihre Axen parallel sind, so lassen sie Lichtstrahlen ebenso durch sich durchgehen wie eine einfache Glas=

platte von der Dicke der beiden Platten. Dreht man aber die eine Platte in ihrer Ebene herum, ohne die Lage der andern zu ändern, so wird das durchgelassene Licht schwächer und schwächer, bis es



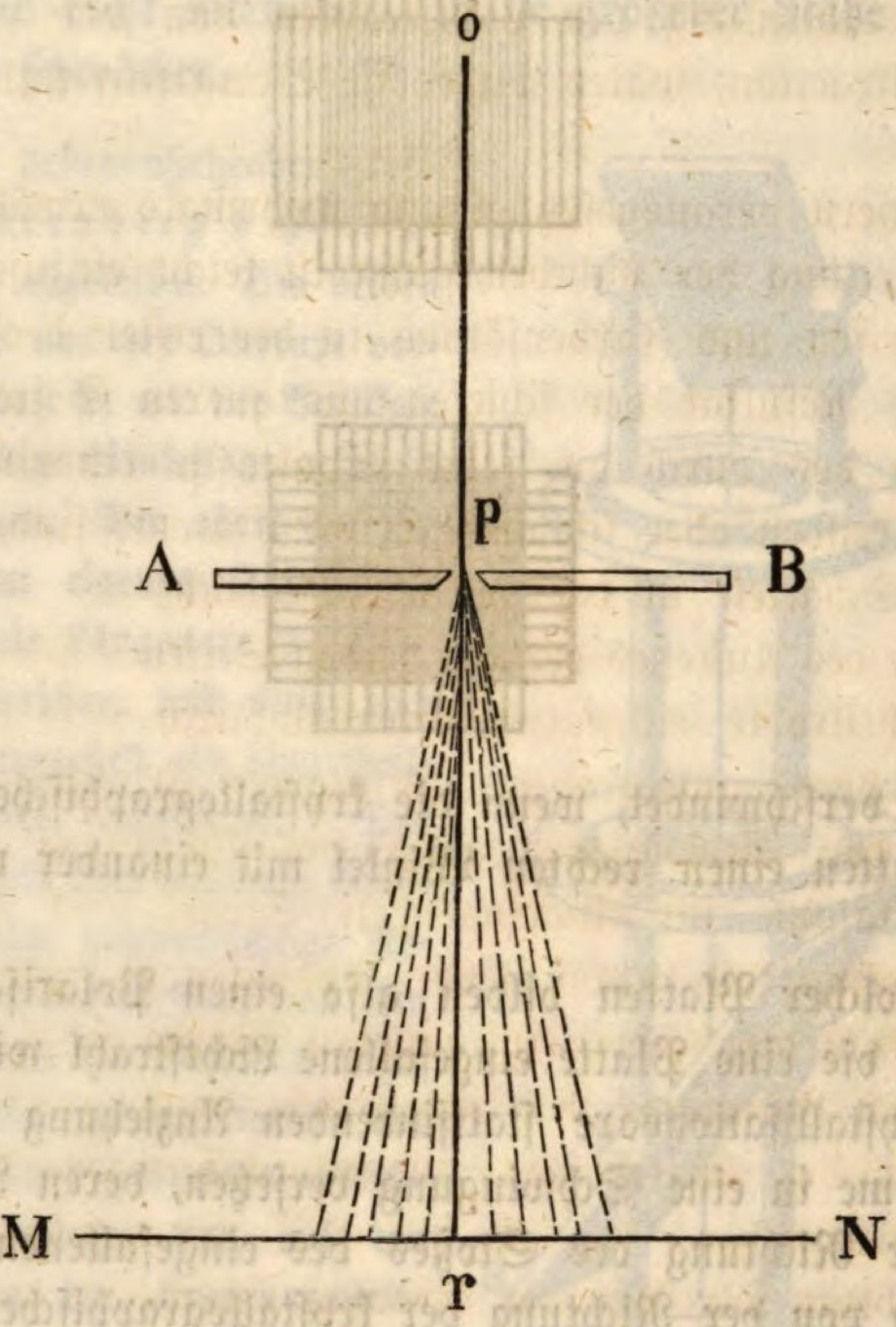


endlich ganz verschwindet, wenn die krystallographischen Axen beider Turmalinplatten einen rechten Winkel mit einander machen, d. h. sich kreuzen.

Zwei solcher Platten bilden also einen Polarisationsapparat, d. h. der in die eine Platte eingefallene Lichtstrahl wird gemäß der nach der Krystallisationsaxe stattfindenden Anziehung die berührten Turmalinatome in eine Schwingung versetzen, deren Richtung nicht nur von der Richtung des Stoßes des eingefallenen Lichtstrahles, sondern auch von der Richtung der krystallographischen Axe bedingt ist; — gelangt nun der aus der einen Platte ausgetretene Lichtstrahl an die zweite mit der ersten krystallographisch gekreuzte Platte, so werden die von dem Stoße des Lichtstrahles getroffenen Atome dieser zweiten Platte in eine Schwingung versetzt, deren Richtung mit der Richtung der Schwingung der Atome der ersten Platte in rechtwinkeliger Stellung sich befindet. Die Schwingung der Atome der einen Platte hebt daher die Schwingung der Atome der andern Platte auf. Sind die beiden Platten weder im Parallelismus ihrer krystallographischen Axe noch in der Kreuzungsstellung, sondern in einer andern als parallelen oder rechtwinkeligen Lage, so trifft die Schwingung der Atome der einen Platte mit der Schwingung der Atome der andern Platte in der Richtung eines kleineren als rechten Winkels auf einander, — und das durchgelassene Licht ist schwächer, wenn sich der Winkel der gegenseitigen Lage beider

Platten mehr einem rechten nähert, — stärker, wenn der Winkel kleiner ist.

Beugung des Lichtes. Wenn man durch eine schmale vertikale Spalte ein Bündel Sonnenstrahlen in horizontaler Richtung in ein

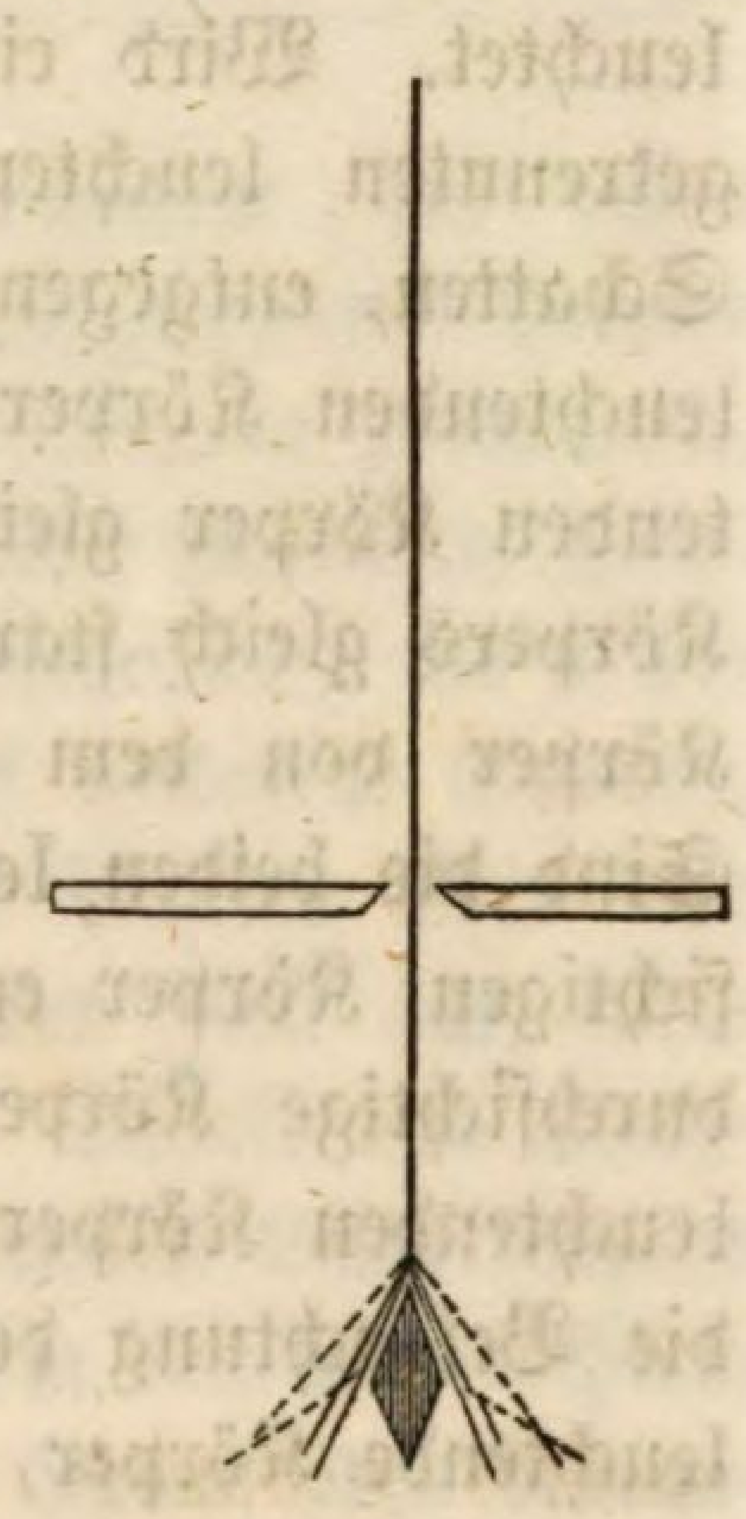


dunkles Zimmer eintreten läßt, fängt dieses Strahlenbündel op 2—3 Meter von der Oeffnung mit dem Schirme AB auf, in welchem sich parallel mit der ersten eine Spalte von ungefähr ½ Linie Durchmesser befindet, so kann man das durch diese zweite Spalte hindurch gegangene Licht auf einem weißen Schirm in einiger Entfernung auffangen. Es erscheint auf diesem Schirm nicht blos bei r ein weißer Streifen, der aber weit breiter ist als die Spalte bei p, sondern auch zu beiden Seiten desselben noch mehrere andere durch dunkle Zwischenräume getrennte Lichtstreifen.

Deßgleichen, wenn man durch eine feine Oeffnung einen Sonnenstrahl in ein dunkles Zimmer eindringen läßt, und diesem Strahle einen schmalen undurchsichtigen Körper aussetzt, so bemerkt man, daß der Schatten dieses Körpers breiter ist, als man nach dem geradlinigen Fortgange der Lichtstrahlen erwarten sollte.

Diesen beiden von Grimaldi zuerst gemachten Beobachtungen fügte dieser noch die dritte hinzu, nämlich von farbigen Säumen sowol im Schatten des schmalen undurchsichtigen Körpers der letzten, als auch im Umfange des erleuchteten Fleckes der ersten Beobachtung. Diese Ablenkung der Lichtstrahlen von der geraden Linie nannte er Diffraction, später wurde sie Beugung und Inflexion genannt.

Nach unsern vorausgesetzten und mehrmals erwähnten Ansichten der Fortleitung der Lichtbewegung ist leicht einzusehen, daß die Seitenlichtstreifen und Farbensäume in der ersten beobachteten Erscheinung das Resultat der schiefen und queren Seitenstöße der in der Richtung des durch die feine Spalte p eindringenden Lichtstrahles vibrirenden oder schwingenden Luftatome sind, — und daß der größere Schatten in der zweiten Beobachtung die Folge des Anstoßes der an beiden Seiten des dem Lichtstrahle entgegengesetzten undurchsichtigen Körpers anliegenden Luftatome ist, welche von der Schwungbewegung der lichtleitenden Luftatome im eindringenden Strahle berührt werden, und ihre schiefe abgleitende Schwungrichtung durch die Resultante des Stoßes der vibrirenden Luftatome des Lichtstrahles und der Reflexion der Seiten des undurchsichtigen Körpers erhalten.

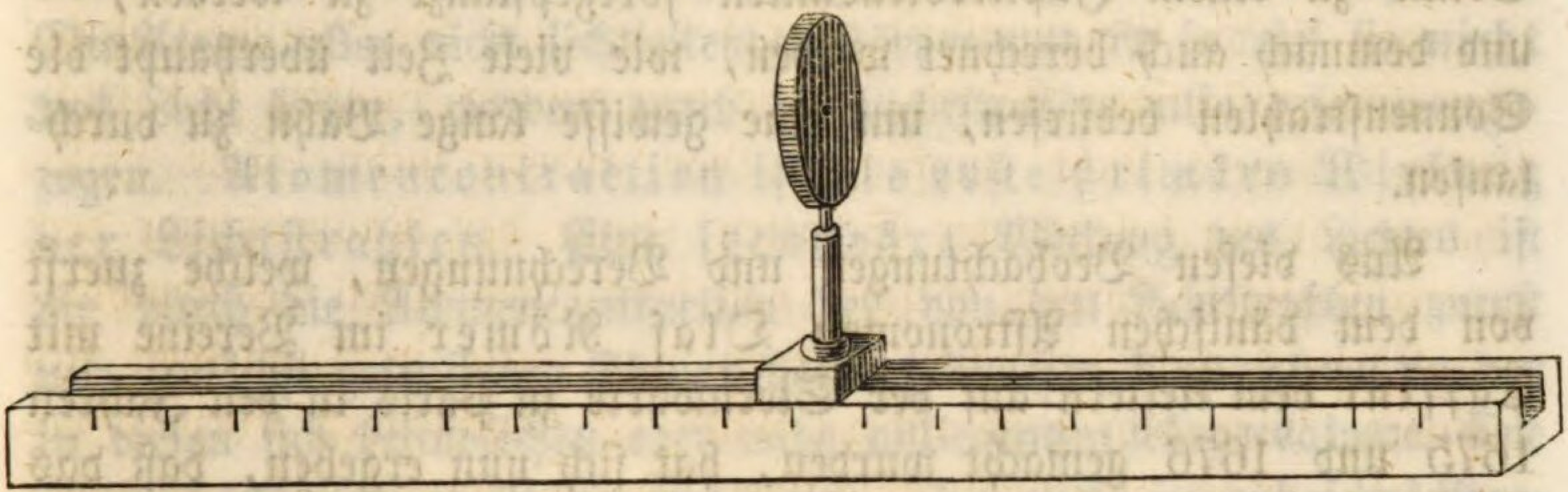


Die farbigen Strahlen der farbigen Säume sind das Resultat der schwächeren seitlichen Stöße der schwingenden lichtleitenden Luftatome, und des mehr spitz- oder stumpfwinkeligen Zusammentreffens mehrerer Stöße auf die Luftatome der farbigen Strahlen. Die inzwischen vorkommenden dunkeln Stellen sind das Resultat des Aufgehobenwerdens der Schwungbewegung der bezüglichen Luftatome durch rechtwinkeliges Zusammentreffen der Vibrationsstöße zweier Nachbaratome.

Schatten. Wenn Lichtstrahlen auf einen undurchsichtigen Körper fallen, so ist der Raum hinter diesem nicht beleuchtet. Die hiedurch erzeugte Dunkelheit heißt Schatten. Wird der undurchsichtige Körper nur von einem Punkte aus beleuchtet, so bildet die Gesammtheit aller Linien, welche von dem leuchtenden Punkt ausgehend den undurchsichtigen Körper berühren, eine kegelförmige Oberfläche, und die Fortsetzung des Kegels bildet den Schatten,

den der undurchsichtige Körper jenseits der Lichtstrahlen wirft. Hat der leuchtende Körper eine größere Ausdehnung als der undurchsichtige Körper, auf welchen das Licht von jenem fällt, so ist außer dem Schatten noch ein Halbschatten vorhanden. Derjenige Theil des Raumes hinter dem undurchsichtigen Körper, welcher gar kein Licht empfängt, wird der Kernschatten genannt. Halbschatten hingegen ist die Gesammtheit aller der Stellen des Raumes hinter dem undurchsichtigen Körper, welche von einigen Punkten des leuchtenden Körpers Licht empfangen, von andern nicht. Der Halbschatten ist ein beleuchteter Schatten, denn der Raum hinter dem undurchsichtigen Körper, welcher von dem einen Theil des leuchtenden Körpers nicht beleuchtet werden kann, also in Dunkelheit sich befindet, wird von dem andern Theil des leuchtenden Körpers beleuchtet. Wird ein undurchsichtiger Körper von zwei von einander getrennten leuchtenden Körpern beleuchtet, so wirft jener zwei Schatten, entgegengesetzt jeder Richtung der Lichtstrahlen der beiden leuchtenden Körper. Ist die Intensität der Leuchtkraft beider leuchtenden Körper gleich, so sind beide Schatten des undurchsichtigen Körpers gleich stark dunkel bei gleicher Entfernung der leuchtenden Körper von dem von ihnen beleuchteten undurchsichtigen Körper. Sind die beiden leuchtenden Körper ungleich weit von dem undurchsichtigen Körper entfernt, so ist derjenige Schatten, den der undurchsichtige Körper durch die Beleuchtung der weiter entfernten leuchtenden Körper wirft, schwächer als der Schatten, den er durch die Beleuchtung des näheren leuchtenden Körpers wirft. Sind beide leuchtende Körper gleich weit von dem beleuchteten entfernt, so ist die Intensität des Lichtes desjenigen leuchtenden Körpers, durch dessen Beleuchtung der undurchsichtige Körper einen stärkeren und dunkleren Schatten wirft, größer, als die Intensität des andern leuchtenden Körpers, durch dessen Beleuchtung der undurchsichtige Körper einen schwächeren Schatten wirft. Aus der größern oder geringern Stärke oder Intensität des Schattens, den ein undurchsichtiger Körper durch die Beleuchtung von einem oder mehreren leuchtenden Körpern wirft, ist daher auch die größere oder geringere Licht-Stärke oder -Intensität des entsprechenden gleich weit wie die andern entfernten leuchtenden Körpers zu erkennen. Auf diesem Grunde beruht der Rumford'sche Lichtmesser — Photometer, um die Intensität zweier Lichtquellen, zweier Leuchtkerzen mit einander zu vergleichen, zu messen. Zwei Lichtquellen werden auch gemessen,

wenn sie in gerader Richtung sich entgegengesetzt aufgestellt sind, durch die Vergleichung des Lichtreflexes des einen leuchtenden Körpers an einem Körper mit dem durch diesen durchscheinenden Licht des andern leuchtenden Körpers. Auf diesem Grunde beruht der Bunsen'sche Photometer. In der Mitte einer langen, in gleiche



Raumgrade getheilten Rinne befindet sich ein Schieber, der einen Papierschirm trägt. Das auf einem Rahmen aufgespannte Papier hat in der Mitte einen kleinen mit Wachs oder Stearin gemachten, mehr als das reine Papier das Licht durchscheinen lassenden Fleck. Dieser Fleck wird hell auf dunklerem Grunde erscheinen, wenn der Schirm stärker von hinten, dagegen dunkel auf hellerem Grunde, wenn er vorn stärker erleuchtet ist. Wird der Schirm aber von vorn und hinten gleich stark erleuchtet, so hört der Fleck auf, sichtbar zu seyn. In letzterem Fall ist nämlich die Stärke des durchscheinenden Lichtes des hinter dem Schirm befindlichen Leuchtkörpers gleich der Stärke des Lichtreflexes, welcher von dem vor dem Schirm aufgestellten Leuchtkörper herrührt. Um wie viel Grade oder Raumtheile auf der Rinne der eine leuchtende Körper mehr von dem beleuchteten Schirme entfernt ist, um so viel Grade ist die Intensität des Lichtes desselben größer, als jene des Lichtes des andern Leuchtkörpers. Wie alle Bewegung z. B. die Schwere abnimmt in dem Verhältniß, in welchem das Quadrat der Entfernung von der Bewegungskraft wächst, — so ist es auch mit der Lichtbewegung der Fall: in dem Verhältniß, in welchem das Quadrat der Entfernung eines beleuchteten Körpers von der Lichtquelle wächst, nimmt die Intensität der Erleuchtung ab, — und so umgekehrt wächst die Intensität der Erleuchtung mit dem Quadrat der Annäherung des beleuchteten Gegenstandes an die Lichtquelle.

Geschwindigkeit des Lichtes. Durch genaue und oft wiederholte Beobachtungen der Jupiterstrabanten, die genaue Berechnung

der Umlaufszeiten um ihren Planeten, durch die Vergleichung der Zeit des berechneten nothwendigen wirklichen Austritts eines Trabanten aus dem Schatten des Jupiters, und der Zeit, in welcher er von unserem Gesichtssinn entdeckt werden kann, konnte berechnet werden, wie viele Zeit das Sonnenlicht nöthig hat, um von der Sonne zu einem Jupiterstrabanten fortgepflanzt zu werden, — und demnach auch berechnet werden, wie viele Zeit überhaupt die Sonnenstrahlen bedürfen, um eine gewisse lange Bahn zu durchlaufen.

Aus diesen Beobachtungen und Berechnungen, welche zuerst von dem dänischen Astronomen Olaf Römer im Vereine mit Cassini dem Aeltern auf der Sternwarte zu Paris in den Jahren 1675 und 1676 gemacht wurden, hat sich nun ergeben, daß das Sonnenlicht ungefähr eine Sekunde braucht, um in dem Weltraum einen Weg von 42,000 Meilen zurückzulegen, und daher auch 8′ 13″ bedarf, um von der Sonne auf die Erde zu gelangen.

In der neuesten Zeit ist es Fizeau gelungen, die Geschwindigkeit des von einer Oelflamme ausgehenden, von einem Spiegel bis zu einem andern in gewisser Entfernung aufgestellten Spiegel reflektirten Lichtes mittels eines inzwischen liegenden, in kurzer Zeit viele Umdrehungen machenden Drehrades zu bestimmen, und hat durch Vergleichung einer großen Anzahl von solchen Versuchen durch Berechnung gefunden, daß das reflektirte Licht einer Lampe in Einer Sekunde 42,505 Meilen in der Luft zurücklegen könnte.

Nach unsern allgemeinen Begriffen von der Bewegung überhaupt und der Bewegung, welche von leuchtenden Körpern ausgeht, muß die Geschwindigkeit der Lichtstrahlen abhängig seyn: 1) von der Intensität des Leuchtens eines Körpers, nämlich der minder oder stärker raschen Ausdehnung der Atome eines leuchtenden Körpers, 2) von der geringern oder größern Beweglichkeit der Atome der die Lichtbewegung fortleitenden Medien, nämlich von der größern oder geringern Abneigung der Atome, sich durch den Stoß der Ausdehnungsbewegung eines leuchtenden Körpers zusammenzuziehen, — und von der geringern oder größern Kleinheit der Atome, — und endlich 3) von der geringern oder größern Stärke des Stoßes, den die lichtleitenden Atome von den schon schwingenden Atomen entweder in der Richtung ihrer Schwingung oder in der seitlichen Richtung derselben erhalten.

Wirkung der Lichtstrahlen. Das Leuchten besteht in einer Ausdehnungsbewegung, und die Lichtstrahlen sind Stoßbewegungen. Die Wirkung der Lichtstrahlen, als beständig nach Unterbrechung fortgesetztes Stoßen, ist bei solchen Körpern, vielmehr solchen Körperatomen, welche durch die Stöße nicht von ihren Stellen bewegt werden, eine raumbeschränkende, also zusammenziehende, contrahirende. Die Atome aller nicht lichtleitenden Körper und in so viel sie nicht das Licht leiten, werden durch die Lichtstrahlen also zusammengezogen. Atomencontraction ist die erste primäre Wirkung der Lichtstrahlen. Eine secundäre Wirkung des Lichtes ist die durch die Atomencontraction der von den Lichtstrahlen zuerst und zunächst getroffenen Körper hervorgebrachte Ausdehnung der in diesen sich befindlichen oder nahe anliegenden Körperatome. Die atmosphärische Luft ist ein Lichtleiter, aber nicht in unbeschränktem Sinn. Denn je dünner die Luft ist, d. h. je ausgedehnter ihre Atome sind, z. B. einer durch eine Luftpumpe verdünnten Luft, desto mehr pflanzt sie die Lichtstrahlen fort, — wir sehen dieß an dem elektrischen Licht. Es werden die Luftatome durch die Lichtstrahlen der Sonne nicht nur in Vibration versetzt, sondern auch und zum Theil in Contraction. Durch die Contraction der Luftatome wird in der Atmosphäre Raum frei, und diesen müssen die Atome der in der Luft oder auf der Erdoberfläche befindlichen Körper ausfüllen, sie werden daher expandirt, und — hinlänglich expandirt — in jene hineinbewegt. So ist es möglich, daß die Atome unseres Leibes bei Sonnenschein expandirt werden, und dieß ist der Grund unseres Wärmegefühles; — so kommt es, daß das in oder auf der Erde befindliche Wasser expandirt und in die Luft gehoben wird. Längere Zeit aber den Sonnenstrahlen ausgesetzt, werden die Wasserdunstatome wieder contrahirt, und also schwerer geworden und mehr gegenseitige Anziehungs- d. i. Cohäsionskraft erlangt habend, bilden sie Wolken und senken sich wieder zur Erde. Hat das Sonnenlicht aufgehört, die Luftatome zu contrahiren, und fangen diese wieder an, sich auszudehnen, also raumbeschränkend auf die in der Luft schwebenden Wasseratome zu wirken, so contrahiren sich ebenfalls die Wasseratome, werden aus dem Luftraum verdrängt, und fallen als Regentropfen, Schloßen oder Schneeflocken zu Boden, oder hängen sich als Thau an die auf sie Adhäsivkraft ausübende Oberfläche der festen Erdkörper an.

Durch die primär contrahirende und die secundär expandirende

Wirkung der Lichtstrahlen werden chemische Verbindungen und Zersetzungen durch das Licht vollbracht; z. B. Chlorgas und Wasserstoffgas verbinden sich bei gewöhnlicher Temperatur im Dunkeln nicht, — aber sobald Sonnenlichtstrahlen auf das Gasgemisch einwirken, verbinden sich beide Gasarten, — bei reflektirtem oder gebrochenem Licht langsam, bei starkem Sonnenschein schnell unter Explosion. Im Wasser absorbirtes Chlorgas entzieht nur unter Einwirkung des Lichtes dem Wasser dessen Wasserstoffgas. Das weiße Chlorsilber wird durch das Licht erst violett gefärbt und endlich ganz schwarz, indem ein Theil seines Chlores entweicht, — und concentrirte Salpetersäure zersetzt sich am Lichte schon bei gewöhnlicher Temperatur in Sauerstoff und Untersalpetersäure. Die Lichtstrahlen befördern die Verwesung organischer Stoffe, d. i. die Zersetzung in ihre Elemente und ihre Verbindung, besonders ihres Kohlenstoffes und Wasserstoffes mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft. Das Bleichen unter Einwirkung des Sonnen- auch Mondlichtes ist aber auch die Wirkung der hiedurch erleichterten Verbindung der organischen Bestandtheile der Leinen mit dem Sauerstoffe der Luft, — ein langsamer Verbrennungsproceß derselben. Das Phosphoresciren faulen Holzes, welches dem Sonnenlichte längere Zeit ausgesetzt gewesen, ist ebenfalls nur Wirkung der zusammenziehend wirkenden Kraft der Sonnenstrahlen, welcher die secundäre Wirkung der Ausdehnung der Holzatome bei Nacht einestheils, und die beschleunigte Verbrennung oder Verbindung mit dem Sauerstoff der verbrennlichen Bestandtheile des Holzes anderntheils nachfolgt. — Die Zersetzung der Kohlensäure, welche die lebenden Pflanzen einsaugen, in Kohlenstoff und Sauerstoff erfolgt nur unter Einwirkung des Lichtes. Die aus der Erde blaß und gelb emporwachsenden Pflanzen hauchen den Sauerstoff der eingesaugten Kohlensäure aus, und behalten in sich den Kohlenstoff, — wovon das Grünwerden der Pflanzen abhängt. In der Dunkelheit wachsende Pflanzen bleiben blaß. Von diesem chemischen Vorgange kann man sich leicht überzeugen, wenn man einen frischen grünen Pflanzenzweig unter eine mit kohlensäurehaltigem Wasser gefüllte Glasglocke bringt; — im Lichte entwickeln sich Gasblasen an den Blättern, die in den obern Theil der Glasglocke aufsteigen, — das hier gesammelte Gas ist Sauerstoffgas. Diese Gasentwicklung findet im Dunkeln nicht statt. Die Sonnenstrahlen verursachen, wie nach unserer Ansicht zu vermuthen steht, in den

Pflanzentheilchen eine Zusammenziehung, die besonders auch den Kohlenstoff der eingesaugten Kohlensäure betrifft, wodurch die Zersetzung dieser hervorgerufen und der sich davon trennende Sauerstoff frei wird und in die atmosphärische Luft zurückkehrt. Das Grün- und immer dunkelgrüner Werden der Blätter scheint nicht nur von der größern Summe des zurückbehaltenen Kohlenstoffes, sondern auch von der durch das Licht hervorgebrachten größern Zusammenziehung der Kohlenstoffatome herzurühren. Denn je zusammengezogener ein Atom ist, desto weniger leuchtend kann es seyn, weil Leuchten, nach unserer Ansicht, in Atomenausdehnung besteht.

Die Zusammenziehung, welche Lichtstrahlen verursachen, muß bedeutender seyn, wenn die Lichtstrahlen heller, d. h. ihre Stoßbewegungen stärker und schleuniger sind, — sie ist geringer, wenn die Lichtstrahlen aus langsameren Bewegungen bestehen, wenn sie farbig sind. Eine chemische Verbindung und Zersetzung erfordert je nach dem Grade der Zusammenziehungs- oder Ausdehnungsfähigkeit der Atome der betreffenden Stoffe bald einen größeren, bald einen geringeren Anstoß von Außen, um von statten zu gehen. Darin mag der Grund liegen, daß z. B. Chlorsilber, welches im weißen Lichte anfangs violett, dann schwarz wird, im blauen und violetten Lichtstrahle auch, aber im rothen nicht geschwärzt wird, — oder daß Wasserstoffgas und Chlorgas unter einem rothen Glase nicht, wohl aber unter einem blauen oder violetten Glase, sowie im weißen Lichte sich verbinden, — oder daß die rothen und gelben Strahlen, welche Bromsilberpapier für sich allein nicht verändern, eine merkliche Wirkung an ihm hervorbringen, wenn es vorher nur kurze Zeit dem weißen Tageslichte oder auch einem blauen oder violetten Lichte ausgesetzt worden, — also gleichsam, daß die rothen und gelben Strahlen die von dem blauen und violetten Lichte begonnene Wirkung fortsetzen. Die violetten Strahlen sind auch im Stande, Stahlnadeln zu magnetisiren.

VII.

Von der elektrischen Kraft.

Begriff von derselben. In der Wärmelehre haben wir darzuthun gesucht, daß die Wärmekraft eines Körpers darin besteht, daß seine Atome sich zusammenziehen, also einen kleineren Raum

einnehmen, um dem zu erwärmenden Körper freien Raum zu geben, worin dessen Atome sich ausdehnen, d. i. warm werden können, — und daß ein Nachbaratom erkaltet, d. i. sich zusammenzieht, wenn eines andern Körpers Atome in Ausdehnungszustand versetzt werden. In dem Kapitel von der Anziehung (der Schwere, Cohäsion und Adhäsion) lehrten wir gleichfalls, daß die Anziehungskraft eines Körpers darin besteht, daß er sich, oder vielmehr seine Atome sich zusammenziehen, auf daß ein anderer Körper, dessen Atome sich nicht in dem Maaße ausdehnen, als von jenem Raum freigegeben wird, von seiner Stelle gezogen und in den geleerten Raum eintrete, — und in der Lehre von dem Lichte haben wir angenommen, daß die Leuchtkraft eines Körpers darin bestehe, daß seine Atome nach einander in Ausdehnungszustand gerathen, und daß die Empfindung von Licht darin bestehe, daß unsere Sehenerven Stöße empfangen, die ihnen die schwingenden Atome solcher Körper beibringen, welche die von den leuchtenden Körpersatomen ausgehende Stoßbewegung bis ins Innere unseres Auges fortleiten. Schwere und Licht gegen einander gehalten, ist jene eine centripetale oder concentrische, dieses eine centrifugale oder excentrisch wirkende Kraft. Ein Körper, welcher zwischen einen concentrisch und einen excentrisch wirkenden Körper, also zwischen einen anziehenden und einen abstoßenden Körper zu liegen kömmt, erleidet von jenem eine Anziehung, von diesem eine Abstoßung, wird von jenem angezogen, von letzterem abgestoßen, und wenn nun die Richtung der Anziehung in die Richtung der Abstoßung fällt, so wird der zwischen dem anziehenden und abstoßenden liegende Körper in einer Richtung so bewegt, daß er an dem Einen Ende seines Durchmessers von dem anziehenden Körper angezogen, an dem andern Ende desselben gegen den anziehenden Körper hin fortgeschoben wird; — vergleichbar mit der Handlungsweise, wie ein Wagen bewegt wird, an dessen Vordertheil ein Mensch ziehet, und dessen Hintertheil ein anderer Mensch vorwärts schiebt. Mit einer solchen Bewegung ist ein elektrischer Strom zu vergleichen, an dessen, des Stromes Einem Ende eine abstoßende, an dessen anderem Ende eine anziehende Kraft wirksam ist. Nennen wir die abstoßende Kraft der sich ausdehnenden Atome eines Körpers die positive, — die anziehende Kraft der sich zusammenziehenden Atome eines Körpers die negative elektrische Kraft, — so befindet sich ein dritter inzwischen liegender Körper, dessen Atome von ersterem

abgestoßen und zu letzterem hingezogen werden, in einem elektrischen Strom.

Geschichtliches. An dem Bernstein, ἤλεκτρον, haben die Griechen zuerst die Wahrnehmung gemacht, daß er, wenn er gerieben worden, unmittelbar darnach die Eigenschaft erlangte, leichte Körperchen, denen er in einiger Entfernung genähert wurde, anzuziehen, so daß diese einige Zeit lang an ihm hängen bleiben. Dieser Eigenschaft eines Körpers, unmittelbar nachdem er gerieben, leichte Körperchen anzuziehen, wurde daher der Name Elektricität gegeben, welcher noch heute im Gebrauche ist.

Diese Eigenschaft haben in mehr oder minderem Grade alle Körper, wenn sie gerieben werden. Am deutlichsten ist sie an Glas, Harzen, Schwefel u. a. zu bemerken. Werden diese mit Wollen- oder Seidenzeug, oder einem Stück Leder gerieben, so werden nach der Reibung leichte Körperchen, wie Goldflitter, Sägespäne, Papierschnizel, Kügelchen von Hollundermark u. dgl. von ihnen in einiger Entfernung, oft von mehr als Einem Fuß schon, angezogen. Früher kannte man nur von einem Theil der Körper, daß sie die elektrische Eigenschaft besitzen, und hat daher die Körper eingetheilt in idioelektrische und anelektrische. Jetzt ist man durch Versuche der Gewißheit, daß alle Körper diese Eigenschaft, elektrische Kraft zu entwickeln, besitzen, nur die einen in höherem, die andern in geringerem Grade. Der englische Physiker Gray (1727) hat entdeckt, daß die Fähigkeit, leichte Körperchen anzuziehen, von einem Körper auf den andern fortgepflanzt werden kann, — und daß es insbesondere die sogenannten anelektrischen Körper sind, welche am besten die Kraft fortzuleiten im Stande sind, diejenigen aber, welche eine solche Anziehungskraft am meisten zu entwickeln im Stande sind, die idioelektrischen, die elektrische Kraft von einem Körper zum andern nicht oder am schlechtesten fortzuleiten vermögen. Man war daher veranlaßt, die Körper einzutheilen in Leiter und in Nichtleiter der Elektricität. Letztere, weil sie die elektrische Kraft nicht weiter leiten, wurden auch Isolatoren genannt. Harze, Seide und Glas sind die schlechtesten Leiter der Elektricität, Metalle die besten. Wenn ein leichter Körper, z. B. ein an einer Seidenschnur freihängendes Hollundermarkkügelchen, in die Nähe einer mit Wollenzeug o. drgl. geriebenen Glas- oder Siegellackstange gebracht wird, so wird es von dieser angezogen, aber nach einiger Zeit entfernt es sich von der Glas- oder Siegellackstange, — und wird letztere darnach

jenem — welchem der Name elektrische Pendel gegeben ist — näher gebracht, so entfernt das Hollundermarkkügelchen sich von der Stange eben so schnell, als es vorher sich ihm genähert hatte. Mit der Hand berührt ändert sich diese Abstoßungseigenschaft, und erlangt die Annäherungseigenschaft von neuem. Wenn ferners ein hängendes Hollundermarkkügelchen von einer geriebenen Glasstange, wie oben erwähnt, angezogen, mit ihm einige Augenblicke in Berührung gewesen war und nachher von ihr sich entfernend abstoßend gegen sie sich verhält, so wird es, nähert man ihm eine mit Wolle geriebene Siegellackstange, von dieser angezogen, während sie von dem Glas abgestoßen wird. Diese Entdeckung (von Dufay 1773) führte zu der Annahme, daß es zweierlei Elektricitäten gebe, und man nannte die Eine die Glaselektricität, die andere die Harzelektricität. Nachdem man aber gefunden, daß auch gegen andere Körper, durch Reibung elektrisch gemacht, sich leichte Körperchen, welche vorher mit andern elektrischen Körpern in Berührung gebracht wurden, entweder abstoßend oder anziehend verhielten, so daß dieselben Körper, welche mit einigen Körpern gerieben sich gegen andere Körper abstoßend verhalten, mit andern Körpern gerieben, sich gegen eben dieselben jene anziehend verhalten, so gab man den zwei verschiedenen Elektricitätsarten die Namen der positiven Elektricität (+ E) und der negativen (— E), — jene der Glas-, diese der Harzelektricität, wenn Glas und Harz sich gegenüber gestellt waren, entsprechend.

Zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen wurde ein Fluidum angenommen, und zwar von Einigen (Franklin und Aepinus) nur Ein elektrisches Fluidum, das in jedem Körper vorhanden, in dem einen Körper mehr als in dem andern, — der Ueberschuß dieses einen Fluidums galt als positive, der relative Mangel an demselben als negative Elektricität, — von andern wie Symmer hingegen wurden zwei elektrische Fluida angenommen, ein Fluidum der positiven und ein Fluidum der negativen Elektricität, welche beide in allen Körpern vorhanden seyen und sich gegenseitig anziehen. Werde nämlich durch Reiben zweier Körper an einander die eine Elektricität entwickelt, so werde zu gleicher Zeit auch die andere entwickelt, in dem einen Körper nämlich, sobald die beiden Fluida von einander getrennt sind, werde die positive, in dem andern Körper die negative Elektricität bemerkbar. Zwei mit einander geriebene oder in Berührung gebrachte Körper tauschen nämlich die

verschiedenen ihrer elektrischen Fluida aus, der eine Körper, welcher durch die Berührung mit dem andern positiv elektrische Erscheinungen an sich bemerken läßt, habe sein negativ elektrisches Fluidum dem andern Körper gegen das von diesem erhaltene positiv elektrische Fluidum eingetauscht, und so umgekehrt der zweite Körper für sein abgegebenes positiv elektrisches Fluidum einen Theil des negativen elektrischen Fluidums des ersteren Körpers in sich aufgenommen.

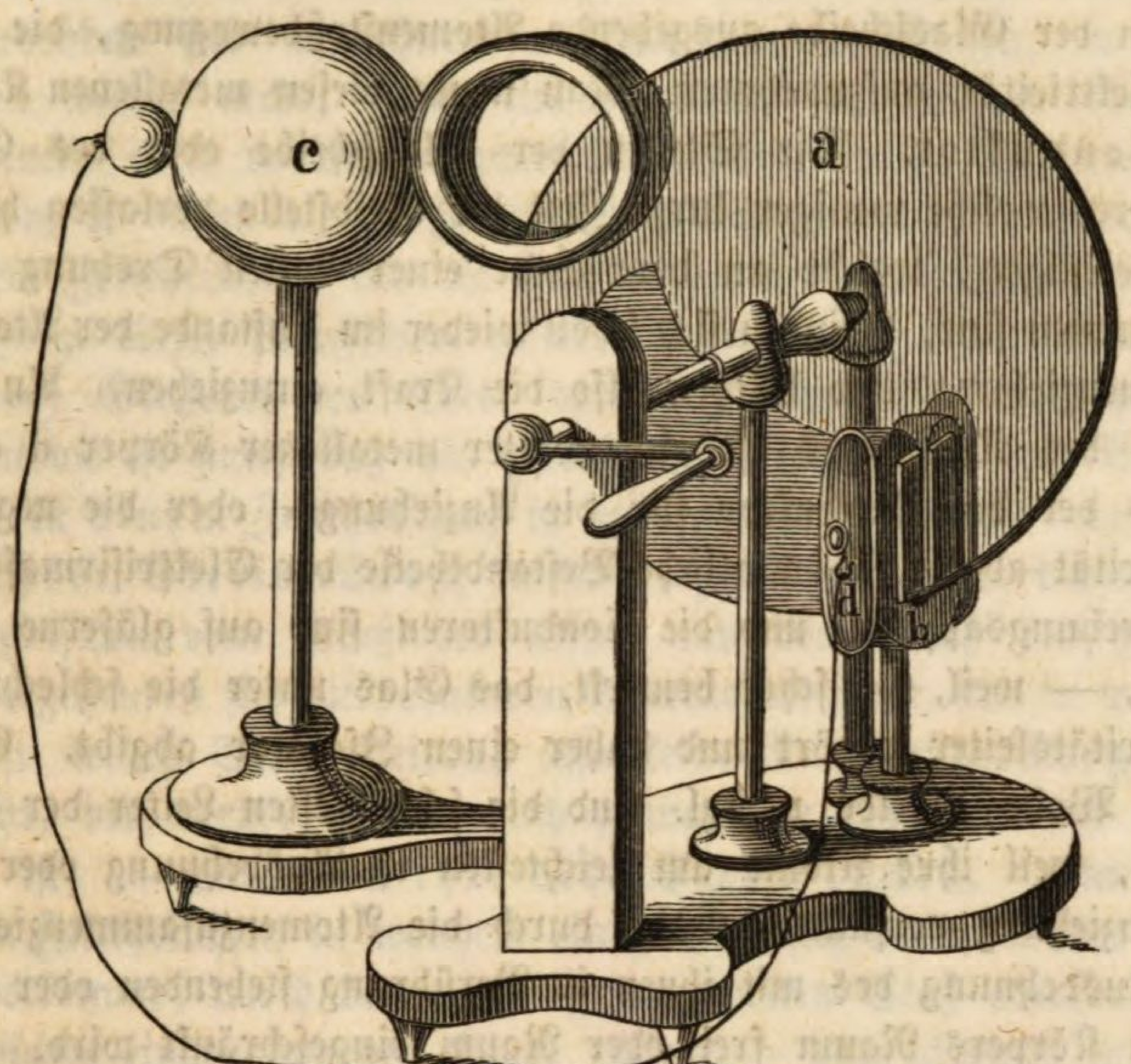
Die Anhänger der ersten Theorie nannte man Unitarier, jene der zweiten Dualisten. Erstere Theorie ist zur Zeit verlassen, letzterer bedienen sich die heutigen Physiker in ihrer Sprache und Erklärung der elektrischen Erscheinungen.

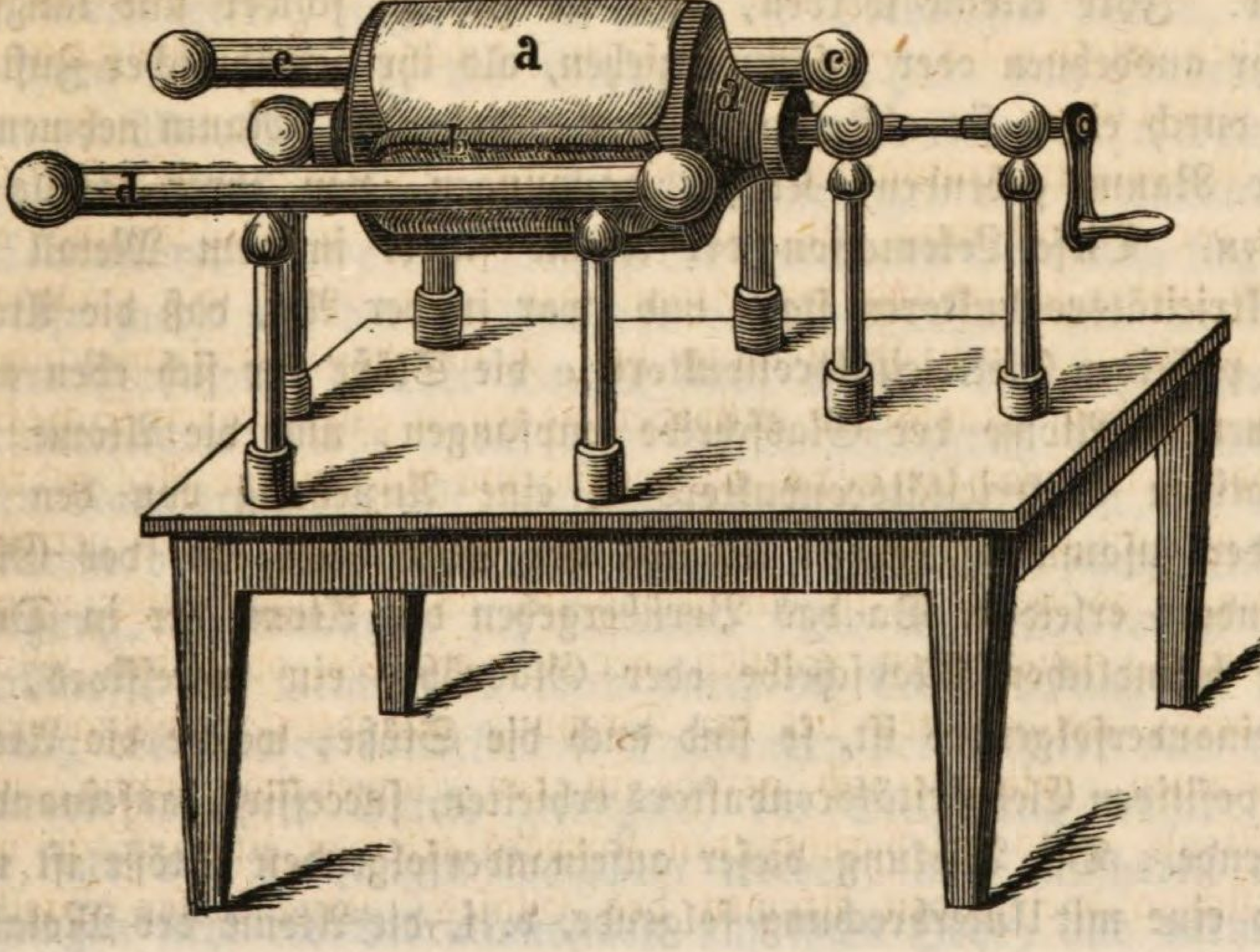
Erklärung der elektrischen Erscheinungen. Wie Eingangs dieses Abschnittes erwähnt, bedienen wir uns analog der Theorie von der Schwere, der Wärme und dem Lichte nicht eines hypothetischen Fluidums, sondern finden den Grund der positiven elektrischen Erscheinungen in der Stoßkraft der Ausdehnungsbewegung der Atome eines Körpers, und den Grund der negativ elektrischen Erscheinung in der mit der Zusammenziehung der Atome der Körper verbundenen Anziehungskraft. Wenn man nämlich Glas mit Leder oder Siegellack mit wollenem Tuche reibt, so wird auf den Glas- und den Siegellackkörper ein Druck ausgeübt. Dieser Druck hat auf diese Körper, wie sonst auf alle andern, die Wirkung der Zusammenpressung, also Zusammenziehung der Atome derselben. Läßt der Druck der Reibung nach, so tritt die nothwendige Folge davon ein, daß die zusammengedrückten und also zusammengezogenen Atome sich wieder ausdehnen, — welche sich alsdann wieder zusammenziehen müssen, sobald der Druck durch das Reiben erneuert wird, und wieder ausdehnen, läßt der Druck nach. Nach dem Schlusse des Reibens befindet sich nun der geriebene Theil der Atome im Akte der Ausdehnung, welche ebenso über das Maaß des gewöhnlichen Volumens der noch ungedrückten Atome hinausgeht, als vorher die Zusammenziehung durch den Druck. Während nun die ausgedehnten Atome sich allmählig wieder in dem Grade zusammenzuziehen streben, in dem sie vor Beginn der Reibung sich befanden, entsteht in nächster Umgebung des geriebenen Körpers eine Raumleere, welche die oben erwähnten leichten Körperchen auszufüllen haben, oder, was dasselbe heißt, in dem Momente der Zusammenziehung der Atome des geriebenen

Siegellackes oder Glases ziehen diese leichte Körperchen an sich. Berührt man ein geriebenes Stück Glas oder Siegellack unmittelbar nach der Reibung mit der Hand, so fühlt es sich warm an, weil die Atome unserer Hand in dem leergewordenen Raum der nächsten Nähe dieser geriebenen Körper sich ausdehnen können. Nach der Berührung des geriebenen Theiles des Glases oder Siegellackes mit der Hand aber verlieren diese Körper das Vermögen, leichte Körperchen anzuziehen. Es haben sich nämlich die ausgedehnten Atome wieder auf ihr früheres Volumen schon gänzlich zusammengezogen, es ist kein leerer Raum mehr vorhanden, in welchen die leichten Körperchen mit einem Theil ihrer Atome eintreten könnten. Man sagt, es haben sich durch die Berührung mit unserer Hand die Elektricitäten beider Körper, jene des geriebenen Glases oder Siegellackes und jene unseres Leibes ausgeglichen. Man nennt unsern Leib einen guten Leiter. Der Akt der Anziehung eines Körpers, dessen ausgedehnte Atome sich in dem Zustand der Wiederzusammenziehung befinden, ist Erscheinung der negativen Elektricität. Wir nennen diese besser die Anziehungselektricität.

Wird aber der geriebene Körper, z. B. Glas oder Harz, in dem Momente der nach der mechanisch bewirkten Zusammendrückung nothwendig erfolgenden Ausdehnung der Atome von einem andern Körper berührt, so erleidet dieser, oder vielmehr dessen Atome erleiden einen Stoß von den Atomen des Glas- oder Harzkörpers. Dieser Akt des Stoßes, der Abstoßung, gibt die Erscheinung der positiven Elektricität, — wir nennen sie besser die Abstoßungselektricität.

Reibelektricitätsapparate und ihre Wirkung. Die beiden Akte der Ausdehnung der Atome des gedrückten Glases und der Wiederzusammenziehung der Atome desselben bilden die Hauptanhaltspunkte bei der Herstellung von Reibungs-Elektrisirmaschinen. Man gibt dem Glaskörper entweder die Form einer großen Scheibe a, oder eines Cylinders a, welche um ihre eigene Axe gedreht werdend, an einem an das Glas angedrückten Reibzeug b gerieben werden. Das Reibzeug ist ein gewöhnlich mit Amalgam überzogenes Lederstück. Diejenigen Stellen der Glasscheibe oder des Glascylinders, welche eben bei der Drehung aus dem Reibzeuge herauskommen, befinden sich gerade in der Atomenausdehnung, und die Atome eines sie berührenden Körpers erleiden einen Stoß von den sich ausdehnenden Atomen des Glases. Eine dieser Stellen


c
a


a
c

wird nun benützt, durch Nahestellung eines metallenen Körpers c die von der Glasscheibe ausgehende Atomenstoßbewegung, die positive Elektricität, aufzunehmen. Man nennt diesen metallenen Körper den Conduktor. Die Stellen der Glasscheibe oder des Glascylinders, welche weniger kurze Zeit die Reibstelle verlassen haben, also diejenigen, welche an dem Ende einer vollen Drehung schon angekommen sind, befinden sich schon wieder im Zustande der Atomenzusammenziehung, und besitzen also die Kraft, anzuziehen. An dem Rücken des Reibzeuges ist ein zweiter metallener Körper d angebracht, der den Conduktor für die Anziehungs- oder die negative Elektricität abgibt. Sämmtliche Bestandtheile der Elektrisirmaschine, der Drehungsapparat und die Conduktoren sind auf gläserne Füße gestellt, — weil, wie schon bemerkt, das Glas unter die schlechtesten Elektricitätsleiter gehört und daher einen Isolator abgibt. Glas, Harz, Wolle, Seide u. dgl. sind die schlechtesten Leiter der Elektricität, weil ihre Atome am leichtesten in Ausdehnung oder Zusammenziehung verfallen, wenn durch die Atomenzusammenziehung oder Ausdehnung des mit ihnen in Berührung stehenden oder kommenden Körpers Raum frei oder Raum eingeschränkt wird. Dahingegen sind die Metalle die besten Elektricitätsleiter, weil ihre Atome am schwersten sich ausdehnen oder zusammenziehen, wenn durch Atomenzusammenziehung oder Ausdehnung des mit ihnen in Berührung kommenden Körpers Raum frei oder Raum beschränkt wird. Ihre Atome werden, weil sie sich so schwer und langsam mehr ausdehnen oder zusammenziehen, als ihr gewöhnlicher Zustand ist, durch einen sie abstoßenden oder anziehenden (Raum nehmenden oder Raum gebenden) Körper gezwungen, von ihrer Stelle zu rücken. Diese Lokomotion der Atome findet in dem Metall der Elektricitätsconduktoren statt, und zwar in der Art, daß die Atome des positiven Elektricitätsconduktors c die Stöße der sich eben ausdehnenden Atome der Glasscheibe empfangen, und die Atome des negativen Elektricitätsconduktors d eine Anziehung von den sich wieder zusammenziehenden Atomen der Glasscheibe oder des Glascylinders erleiden. Da das Vorübergehen der Atome der in Drehung befindlichen Glasscheibe oder Glasröhre ein successives, ein aufeinanderfolgendes ist, so sind auch die Stöße, welche die Atome des positiven Elektricitätsconduktors erhielten, successive, aufeinanderfolgende. Die Wirkung dieser aufeinanderfolgenden Stöße ist nun auch eine mit Unterbrechung folgende, d. i. die Atome des Metalles

des Conduktors werden in einem Zeittheilchen von dem ersten vorübergehenden sich ausdehnenden Glasatom abgestoßen, in einem zweiten wieder nicht, — in einem dritten Zeittheilchen abermals von einem eben vorübergehenden sich ausdehnenden Glasatom abgestoßen, in einem vierten Zeittheilchen wieder nicht, — und so fort so viele Zeittheilchen, als die Drehungen des Glaskörpers dauern. Die Folge dieses successiven, unterbrochenen, aussetzenden (intermittirenden) Stoßens von Seite vorübergehender sich ausdehnender Glasatome ist nun, daß die getroffenen Metallatome des Conduktors c in einem Zeittheilchen, in welchem sie den Stoß empfangen, von ihrer Stelle rücken, in einem zweiten Zeittheilchen, welches zwischen dem Stoß des ersten und dem Stoß des zweiten vorübergehenden sich ausdehnenden Glasatomes liegt, und in welchem sie also keinen Stoß erleiden, also keine Raumbeschränkung mehr herrscht, der vorher in Anspruch genommene Raum wieder freigegeben ist, — wieder an ihre alte Stelle rücken, — in einem dritten Zeittheilchen, in welchem ein zweites sich ausdehnendes Atom vorüberkömmt, durch den empfangenen zweiten Stoß abermals von der wieder eingenommenen Stelle rücken, — und alsdann in einem vierten Zeittheilchen, wo kein ausdehnendes Glasatom vorüberkömmt, wieder an ihre alte Stelle zurücktreten müssen, und so fort rücken die Metallatome des positiven Elektricitätsconduktors in dem einen Zeitmomente von dem gedreht werdenden Glase hinweg, und in dem andern wieder hinzu, — so lange die Drehungen dauern, und mit ihnen die Reibung des Glases. Diese Hin- und Herbewegungen der Metallatome des Conduktors sind aber Atomenschwingungen oder Vibrationen. Die Schwingungen der Metallatome des Conduktors, welche am nächsten der geriebenen Glasfläche liegen, und also zuerst von den Stößen der vorüberbewegten sich ausdehnenden Glasatome berührt worden sind, theilen die empfangenen intermittirenden Stöße durch ihre Schwingbewegung ihren anliegenden Nachbaratomen mit, und diese wieder den übrigen, so daß die Atome der ganzen Metallmasse des Conduktors in schwingender Bewegung, in Vibration sich befinden. Die Atomenvibration der Metallmasse des Conduktors wird durch die Wiederholung der die Reibung des Glases bewirkenden Drehungen der Scheibe oder des Cylinders in ihrer Stärke gesteigert, die Steigerung währet so lange, als die Drehungen fortgesetzt werden, nach Aufhören der Drehungen steht die Vibrationsstärke auf ihrer Höhe, und darnach

nimmt die Stärke der Schwingungen der Atome und mit ihr die Stoßkraft, mit welcher sie sich einander berühren, allmählig ab.

Auf gleiche Weise wird der Conduktor d am Reibzeuge, wie man sagt, mit negativer Elektricität geladen, d. h. die Metallatome des Conduktors d werden von jedem bei der Drehung der Glasscheibe oder des Glascylinders vorüberkommenden eben sich wieder zusammenziehenden Glasatom angezogen, und in jedem Zwischenzeitraum zwischen je zwei vorübergehenden Glasatomen wieder in Ruhe gelassen, sie werden also in dem einen Moment von ihrer Stelle zu dem Glase gerückt, in dem andern Momente rücken sie wieder in die alte Stelle zurück, sie werden also in Schwingung, in Vibration versetzt, welches so lange fortwährt, so lange die Drehungen fortgesetzt werden, und wobei die Stärke der Vibration eben so lange an Steigerung zunimmt, als die Drehungen und hiemit das Vorüberziehen der sich zusammenziehenden und also Anziehung ausübenden Glasatome sich mehren, und ihren höchsten Grad unmittelbar nach dem Schlusse der Drehungen erreicht hat.

Das Geladenseyn der beiden Conduktoren, dort mit positiver, hier mit negativer Elektricität dauert so lange, als die Atomenmasse der Conduktoren in Schwingung, in Vibration sich befindet. Sie dauert um so länger, je mehr Drehungen der Glasscheibe oder des Glascylinders stattgefunden haben, je mehr also dort sich ausdehnende, hier sich zusammenziehende Atome vor der Conduktormetallmasse vorübergegangen, je öfter die Atome der Metallmasse der Conduktoren dort Stöße, hier Anzüge erlitten haben.

Die Stärke der Vibration der Metallatomenmasse der Conduktoren steht im geraden Verhältniß zur Zahl der Drehungen, also der Zahl der vorübergekommenen sich ausdehnenden oder sich zusammenziehenden Glasatome und im umgekehrten Verhältniß zu der Anzahl der Atome der Metallmasse der Conduktoren selbst. Je größer die Anzahl der Drehungen und je kleiner die Anzahl der Atome der Metallmasse der Conduktoren, desto größer die Stärke der Atomenvibration der Conduktoren, desto stärker deren Ladung mit Elektricität. Je geringer die Anzahl der Drehungen und je größer die Anzahl der Atome der Metallmasse der Conduktoren, desto geringer die Stärke der Atomenvibration der Conduktoren, desto schwächer deren Ladung mit Elektricität.

Wie oben bemerkt, sind die Conduktoren von dem Boden, auf

den sie gestellt sind, durch Glasstangen isolirt und außerdem nur von der atmosphärischen Luft des Raumes, in dem sie stehen, umgeben. Glas und Luft sind Körper, deren Atome von größerer Ausdehnung sind, geringere Zusammenziehung besitzen, also auch durch eine geringere Cohäsionskraft an einander zusammengehalten werden, als Metalle. Sie ziehen sich durch den Stoß der sich ausdehnenden Nachbaratome leichter selbst zusammen, oder dehnen sich bei dem Zusammenziehungsakt ihrer Nachbaratome leichter noch mehr aus, als dieß der Fall bei den Metallatomen ist, — sie werden also weniger leicht als diese zur Stellenveränderung veranlaßt, also auch schwerer in Schwingung, Vibration versetzt, — und selbst durch ihre leichtere und extensivere Ausdehnungs- und Zusammenziehungsfähigkeit leichter elektrisch gemacht, leiten sie schwerer die elektrischen Schwingungen fort, als dieß bei den Metallatomen der Fall ist. Durch die Luft und das Glas werden also die Vibrationen der Metallatome der Conduktoren schwer, langsam und sehr wenig fortgeleitet. Mehr als die Luftatome lassen sich die in der atmosphärischen Luft schwebenden Wasserdunstatome in Schwingung versetzen, — sie sind bessere Elektricitätsleiter als die Luftatome. Kömmt aber ein guter Elektricitätsleiter mit der in Vibrationszustand befindlichen Metallmasse eines Conduktors in Berührung, so werden die Atome des guten Leiters, z. B. wie die eines Metallstückes oder des menschlichen Körpers, durch den Stoß der schwingenden Atome der Metallmasse des Conduktors in Bewegung versetzt. Befinden sich die Atome der Metallmasse der Conduktoren in sehr starker Vibration unter fortwährender Steigerung derselben durch die Reibung des Glaskörpers, so sind die den Conduktor umgebenden Luftatome nicht mehr im Stande, in dem Grade sich zusammenzuziehen, als der Stoß, der auf sie von den schwingenden Metallatomen her einwirkt, oder vielmehr die fortgesetzte Raumbeschränkung es erforderte, und sie sind daher gezwungen, so wie die Metallatome selbst von der Stelle zu rücken, sie gerathen selbst in Schwingung, in Vibration, welche von den Nachbaratomen fortgesetzt auf unser Auge treffen, und eine Lichterscheinung abgeben, das sogenannte elektrische Licht, welches wie Funken von dem Conduktor abzuspringen scheint, einen mit dem Conduktor in Verbindung gesetzten Metalldraht mit einem Lichtschein umgibt, bei Dunkelheit mehr sichtbar wird, und besonders in luftverdünntem Raum als blaßviolettes Licht viel stärker

als in gewöhnlicher verdickter Luft zum Vorschein kömmt. Je stärker die Metallmasse eines Conduktors in Atomenvibration sich befindet, desto stärker ist auch das Licht der Funken oder die Lichtausstrahlung, die an seiner Peripherie zum Vorschein kommt.

Diese Luftatomenvibrationen, — und wir wissen aus der Lehre von dem Lichte, daß die Empfindung von Licht in unseren Sehenerven nur durch den Anstoß von schwingenden Luftatomen und von schwingenden Atomen von Körpern mit geringer Cohäsionskraft erzeugt werde, — diese Luftatomenvibrationen werden noch schneller hervorgebracht, wenn der in Atomenvibration begriffenen Metallmasse des Conduktors in einiger Entfernung ein gutleitender Körper nahe gebracht wird. Es erfolgt alsdann ein Ueberspringen von Funken oder garbenähnlichen Lichtstrahlen von dem Conduktor auf den guten Leiter. Es ist wahrscheinlich, daß die zwischen dem guten Leiter und der Metallmasse des Conduktors befindlichen Luftatome, wenn sie durch den Stoß der Metallatomenvibrationen in schwache Schwingung versetzt sind, diese ihre Schwingungen durch den Widerstoß an den entgegen gehaltenen guten Leiter zu verstärken gezwungen sind, und daß die Atome des guten Leiters, durch sie in Schwingung versetzt, durch den Rückschlag ihrer Schwingungen die Luftatome gleichfalls stärker zu schwingen nöthigen. Die zwischen den beiden in Atomenvibration begriffenen gutleitenden Körpermassen befindlichen Luftatome werden durch den Grad der Stärke und der Geschwindigkeit der Schwingungen jener gezwungen, eben so stark und schnell zu schwingen, als die Atome der sie begrenzenden Körper. Wenn, wie schon einmal bemerkt, die Elektricität viel schneller fortgeleitet wird als das Licht, die Atome also, welche die Elektricität durch ihre Schwingungen fortleiten, auch um so viel kleiner seyn müssen, als die Atome, welche das Licht fortleiten, Luft aber unter die besten Lichtleiter gehört, so ist nicht zu wundern, daß die Luft, wenn ihre Atome durch die Elektricität in Vibration versetzt werden, also die gleiche Geschwindigkeit in ihrer Schwingung annehmen müssen, als die Atome der guten Elektricitätsleiter, der Metalle z. B., — auf unser Auge eine leuchtende Wirkung ausübt, — wie wir eben auch glauben, daß das elektrische Licht darin besteht. Je ausgedehnter die Atome eines Körpers sind, — so haben wir bei der Lehre von der Lichtleitung oben darzuthun gesucht, — desto besser leiten sie die von leuchtenden Körpern ausgehende Bewegung fort. Dieses sehen wir bei dem

elektrischen Lichte bestätigt, welches, in einem luftverdünnten Raum zur Entwicklung gebracht, viel heller und stärker erscheint, als in gewöhnlicher atmosphärischer Luft. Durch die Ausziehung von einer so großen Menge Luft, als es durch die Luftpumpe möglich ist, werden in dem von luftdichter Masse eingeschlossenen Raum die in kleiner Anzahl noch vorhandenen Luftatome in diesem sich auszudehnen gezwungen seyn, sie haben also ein größeres Volumen, sind ausgedehnter als die Atome der atmosphärischen Luft, — durch ihre Vibration erzeugen sie daher eine größere Lichterscheinung, als die vibrirenden Atome der atmosphärischen Luft.

Aus Metallmassen, deren Atomenvibrationen durch die Nähe von sich ausdehnenden Glasatomen erregt wurden, d. i. aus einem Conduktor, welcher mit positiver Elektricität geladen ist, können größere Funken und elektrische Büschel oder Garben in der sie umgebenden Luft erzeugt werden, als aus Conduktoren, welche mit negativer Elektricität geladen sind, d. i. deren Metallmasse durch die Nähe sich eben zusammenziehender Glasatome in Atomenvibration versetzt worden ist. In je stärkere Vibration die Atome der Conduktoren und guten Leiter versetzt wurden, desto stärker ist die elektrische Lichterscheinung, welche durch sie in der sie umgebenden Luft erzeugt wird.

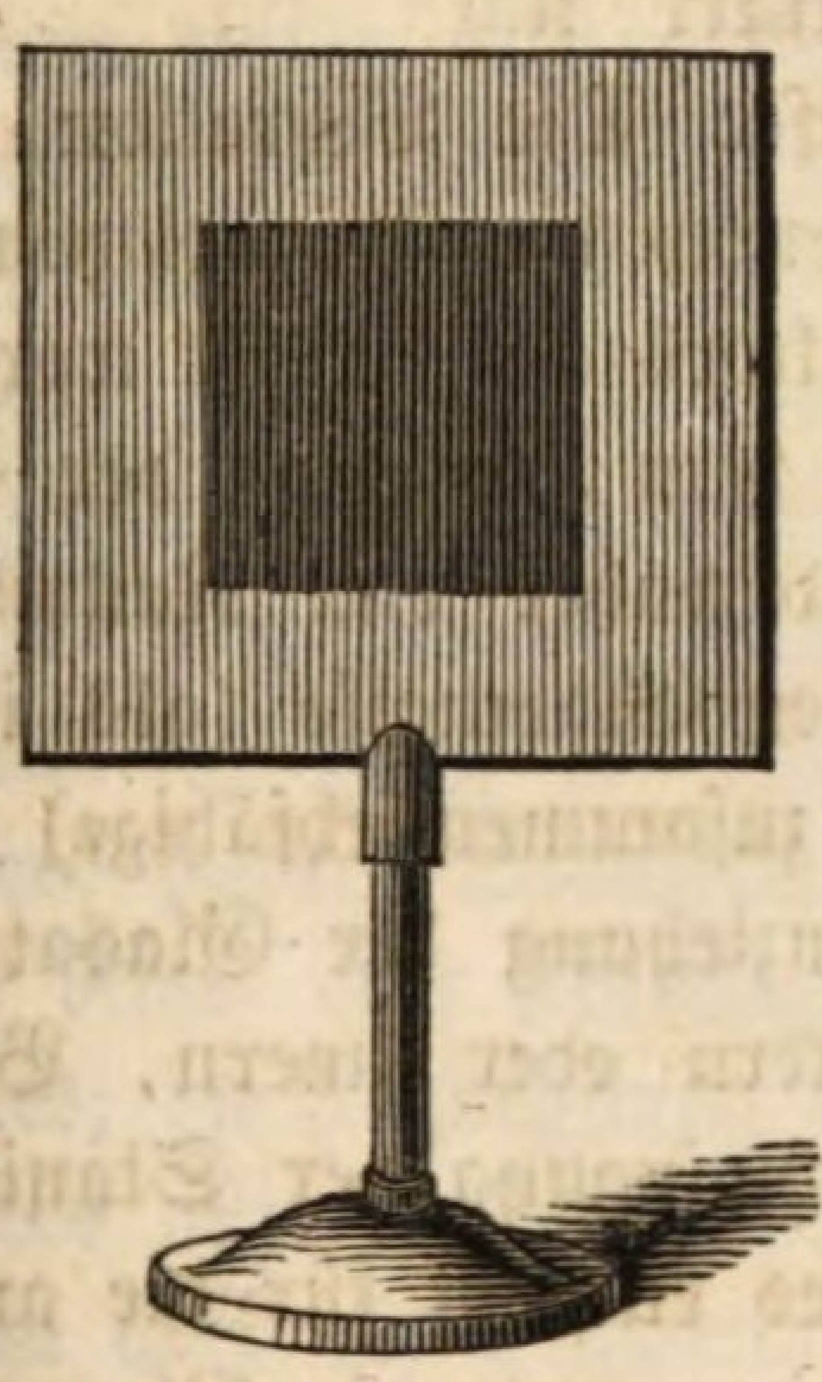
Wie oben bemerkt, hat die Atomenvibration eines Conduktors den höchsten Grad der Stärke bei dem Schlusse der Drehungen und also Reibungen der Glasscheibe oder des Glascylinders erlangt. Nach demselben hört die Bewegungskraft für die Atomenschwingungen des Conduktors auf, und die Vibrationsstärke fängt an, allmählig abzunehmen. In vollkommene Ruhe kommen zuerst die Atome der leitenden Massen, welche immer das äußerste Glied einer Reihe schwingender Atome bilden. Je länger die Ursache der Atomenvibration andauert, eine desto größere Ausdehnung wird die Atomenvibration der leitenden Massen nehmen, und je größer die Atomenanzahl der leitenden Massen ist, desto länger wird eine elektrische Bewegung andauern. Ist es aber der Fall, daß ein gutleitender Körper, z. B. ein langer Metalldraht, welcher mit dem einen Ende in Verbindung oder in Berührung mit einem eben geladen werdenden Conduktor steht, mit seinem andern Ende mit einer zweiten Elektricitätsquelle, d. i. einem Körper, dessen Atome eben in Ausdehnung oder Zusammenziehung begriffen sind, in Berührung kommt, so befindet sich der Metalldraht zwischen zwei

bewegenden Kräften. Wird der Conduktor mit positiver Elektricität geladen, und steht der Metalldraht, welchem von jenem die Atomenvibration mitgetheilt wird, mit seinem andern Ende mit einem negative Elektricität entwickelnden Körper in Verbindung, d. i. mit einem Körper, dessen Atome eben in Zusammenziehung begriffen sind, so wird die Atomenvibration des Metalldrahtes durch zwei Kräfte erhalten, von denen die eine die positive Elektricität der eben in Ausdehnung begriffenen Atome des geriebenen Glaskörpers, die andere eine in der Entwicklung negative Elektricität, d. i. in Atomenzusammenziehung begriffener Körper ist. Als ein solcher kann der Erdboden gelten, welcher die Elemente der positiven und negativen Elektricität, d. i. Körper enthält, deren Atome eben in Ausdehnung, und Körper, deren Atome eben in Zusammenziehung begriffen sind. Eine Atomenvibration guter Elektricitätsleiter, welche auf dem einen Ende dieser durch einen positive Elektricität entwickelnden Körper, d. i. einen Körper, dessen Atome eben in Ausdehnung begriffen sind, und auf dem andern Ende durch einen negative Elektricität entwickelnden Körper, d. i. einen Körper, dessen Atome eben in Zusammenziehung begriffen sind, unterhalten wird, nennt man einen elektrischen Strom. An dem einen Ende werden die Ortsveränderungen der Atome von einer intermittirenden Abstoßungs-, an dem andern Ende von einer intermittirenden Anziehungskraft hervorgebracht, — beide Kräfte wirken auf die zwischen ihnen liegenden Atome intermittirend ortsverändernd, bewegend in Einer Richtung, — in der Richtung, in welcher die eine Kraft die Atome hinzieht, stößt sie zu gleicher Zeit auch die andere Kraft hin.

Ein solcher elektrischer Strom wird hergestellt, wenn der positive Elektricitätsconduktor, dessen Atome durch die Nähe der sich ausdehnenden Glasatome der Scheibe oder des Cylinders an einer Elektrisirmaschine in Vibration versetzt werden, mit dem negativen Elektricitätsconduktor, dessen Atome durch die Nähe der sich wieder zusammenziehenden Glasatome in Vibration versetzt werden, durch einen metallenen Leitungsdraht in Verbindung gesetzt wird. Ein elektrischer Strom wird ebenfalls hergestellt, wenn entweder der Conduktor der positiven Elektricität, oder der Conduktor der negativen Elektricität, das Reibzeug nämlich allein mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt wird. Der auf die letzte beider Weisen hergestellte elektrische Strom ist um so kräftiger, je mehr

gute Leitungsmasse eine leitende Verbindung abgibt, z. B. wenn der von einem der beiden Conduktoren abgehende metallene Leitungsdraht mit einer langen metallenen Gasröhre unter der Erde in Verbindung gebracht wird.

Sowie Körper, deren Atome eben im Ausdehnungs- oder Zusammenziehungsakte begriffen sind, die Ursache von elektrischen Strömen oder vielmehr der Atomenvibration gutleitender Körper sind, so können auch umgekehrt elektrische Ströme die Ursache von Atomenausdehnung oder Zusammenziehung schlechtleitender (idioelektrischer) Körper seyn. Ein Beispiel von beiden gibt die sonst so genannte gebundene Elektricität der Franklin'schen Tafeln und der auf dieser beruhenden Leidner'schen Flaschen ab. Die



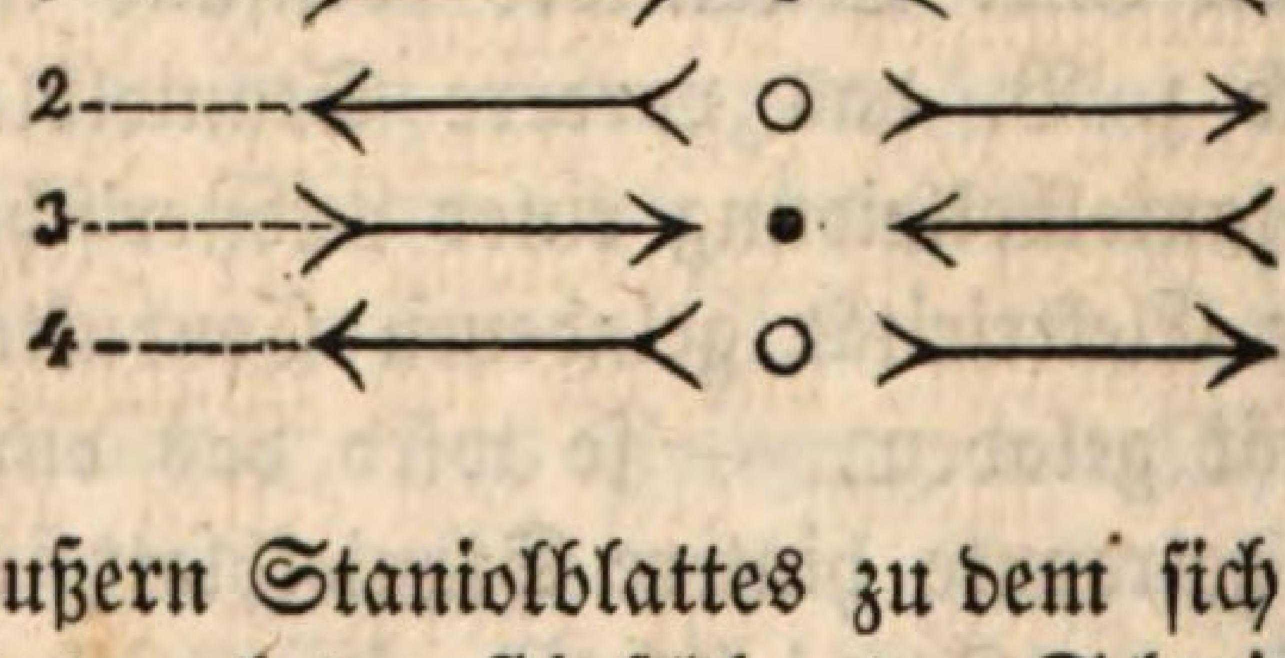


eine und die andere Seite einer Glastafel oder die eine innere und die andere äußere Fläche einer gläsernen Flasche sind mit einer dünnen Metallmasse, gewöhnlich Staniol, zum großen Theil so überzogen, daß beide Staniolblätter sich nicht berühren oder nicht zu nahe einander, also beide durch die Glasmasse von einander getrennt sind. Wird nun das eine Staniolblatt, das vordere oder hintere, das äußere oder das innere, mittels einer Leitung durch die Atomenvibration eines Conduktors ebenfalls in Atomenvibration versetzt, d. i. wird z. B. das vordere Staniolblatt der Glastafel oder die äußere Staniolbekleidung einer Leidner'schen Flasche mittels eines mit positiver Elektricität geladenen Conduktors ebenfalls mit positiver Elektricität geladen, — so wird das durch die Glasmasse von dem vordern getrennte hintere Staniolblatt, oder das von dem äußern getrennte innere Staniolblatt mit negativer Elektricität ge-

laden, wenn letzteres mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt wurde. Im unberührten Zustande behalten, getrennt von ihrer Leitung und dem Conduktor, die beiden durch die Glasmasse getrennten Staniolblätter ihre elektrische Ladung bei. Die Entladung erfolgt, sobald mittels eines Leitungsstabes das vordere oder äußere Blatt mit dem hinteru oder innern Blatt Staniol in Verbindung gesetzt wurde. Ehe der zweite Arm des mit seinem einen Arm das eine Staniolblatt berührenden Leitungsstabes das andere Staniolblatt berührt, erzeugt sich in der Luft zwischen dem zweiten Arm und dem zuletzt berührt werden sollenden Staniolblatt ein elektrischer Funke. Nach unserer Ansicht erklärt sich



dieser Vorgang auf folgende Weise: Die Vibration, welche den Atomen des einen Staniolblattes durch die Vibrationen der Atome des in Berührung gebrachten Conduktors mitgetheilt worden ist, übt auf die angrenzende Glasmasse bei dem Hinschlag der Schwingung der Staniolatome einen Stoß, und daher eine Raumbeschränkung aus, in Folge deren die Atome der Glasmasse (als idioelektrische oder leicht ausdehnliche und leicht zusammenziehfähige) sich zusammenziehen. Durch diese Zusammenziehung der Glasatome werden die Staniolatome des andern, hintern oder innern, Blattes angezogen. Bei dem Rückschlag der Schwingung der Staniolatome des ersten, vordern oder äußern, Blattes entsteht für die an dieses anstoßenden Glasatome eine Raumleere, und die Glasatome können sich wieder ausdehnen. Durch diese Ausdehnung der Glasatome werden anderseits die vorher angezogenen Atome des hintern oder innern Staniolblattes wieder abgestoßen, und diese also ebenfalls in Vibration gesetzt. Die Vibrationsrichtung der Atome der beiden durch das Glas getrennten Staniolblätter ist aber immer eine entgegengesetzte. Während des Hinschlages der Schwingung der Atome



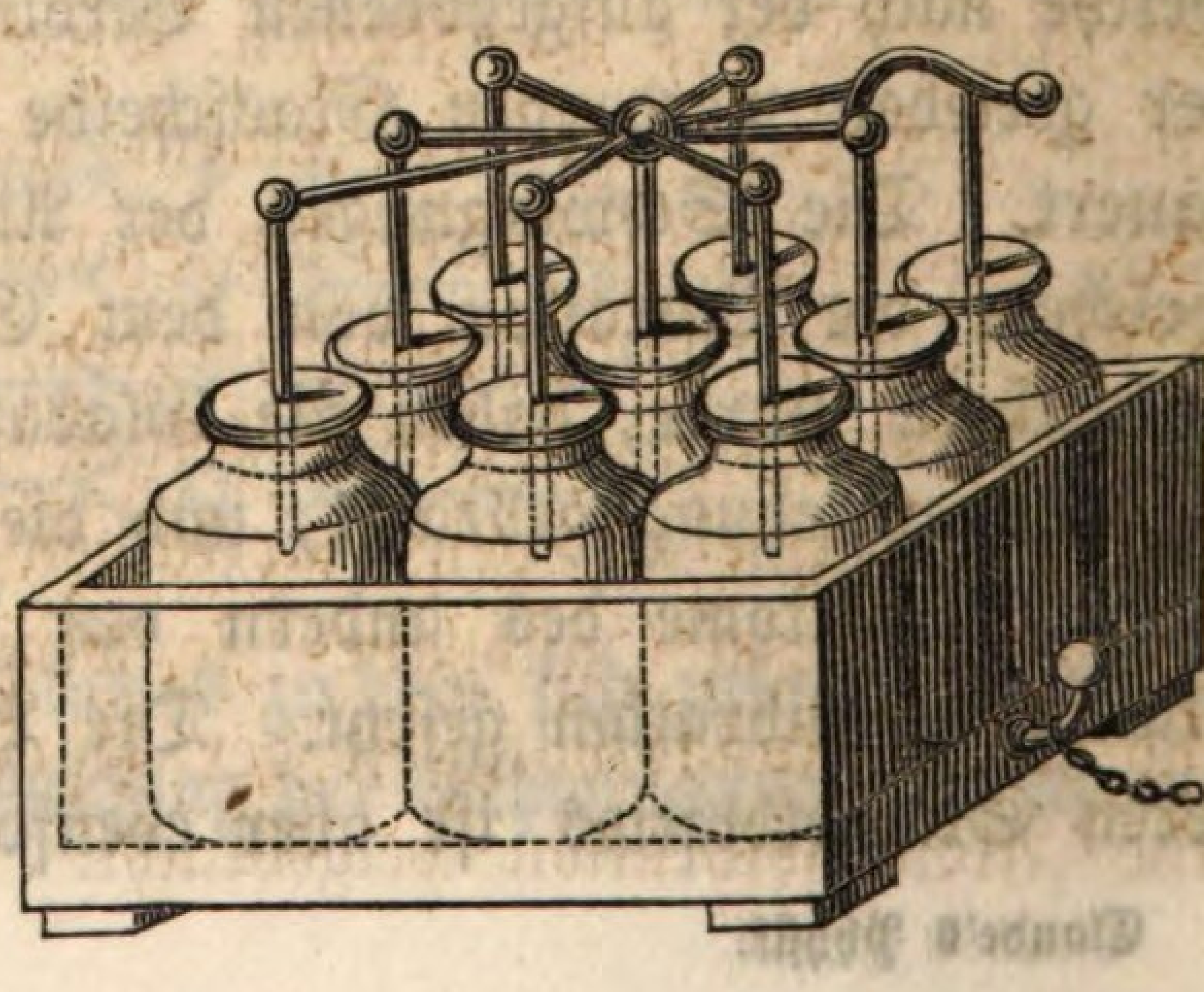
des vordern oder äußern Staniolblattes zu dem sich zusammenziehenden Glasatome findet auch der Hinschlag der Schwingung der Atome

des hintern oder innern Staniolblattes zu dem sich zusammenziehenden Glase statt. Die Richtung der Schwingungen der Atome des einen und des andern Staniolblattes sind sich also entgegengesetzt, die Bewegung der Atome beider ist gegen einander gerichtet. Wenn nun der Rückschlag der Atome des vordern oder äußern Staniolblattes eintritt, so tritt auch der Rückschlag der Atome des hintern oder innern Staniolblattes ein, — während der Wiederausdehnung der Glasatome nämlich bewegen sich die Atome der beiden Staniolblätter von einander. Es findet daher in dem einen Moment, während des Zusammenziehungsmomentes der Glasatome eine hergeleitete elektrische Strömung gegen die Glasmasse, und in dem andern Moment, während des Ausdehnungsmomentes der Glasatome eine von diesen ausgehende elektrische Strömung statt. Im dritten Momente sind die Vibrationen der Atome beider Staniolblätter gegen das Glas, im vierten Moment wieder von dem Glas hinweg gerichtet, — und so abwechselnd fort findet in dem einen Moment Anschlag der schwingenden Staniolatome des durch die Elektrisirmaschine geladenen Blattes an das Glas, die hiedurch bewirkte Zusammenziehung der Glasatome und das Angezogenwerden der Atome des andern Staniolblattes, — in dem folgenden andern Moment der Rück- oder Abschlag der schwingenden Atome des ersten Staniolblattes, die Ausdehnung der Glasatome und der Rückschlag der Atome des andern Staniolblattes statt.

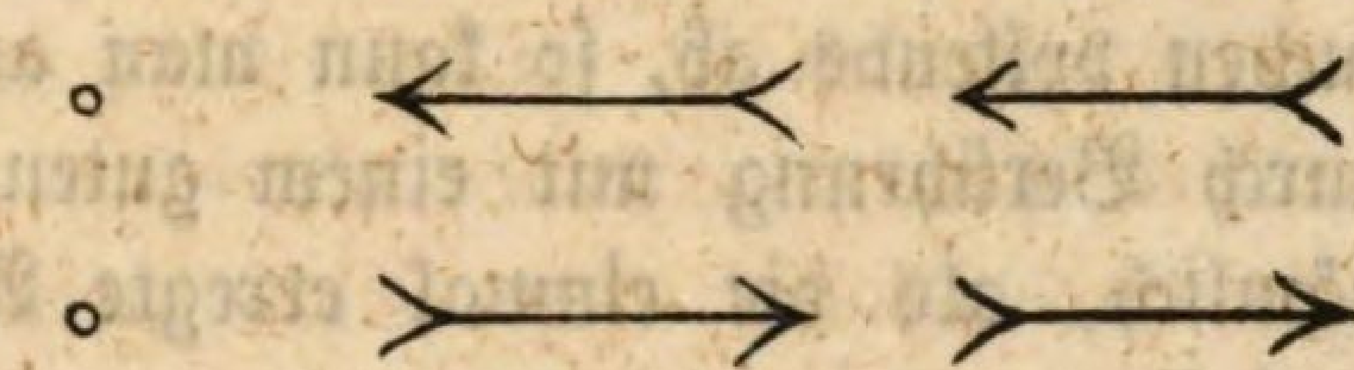
Hat nun auch die Einwirkung der Elektrisirmaschine auf das eine Staniolblatt aufgehört, ist die Franklin'sche Tafel oder die Leidner'sche Flasche außer leitende Verbindung mit dem geladenen Conduktor der Reibungselektrisirmaschine gebracht, — so hören denn doch nach einiger Zeit die Vibrationen der Staniolatome nicht auf, sondern sie haben in den sich zusammenziehenden und wieder ausdehnenden Glasatomen eine andere Bewegungsquelle erhalten, welche nach der aufgehobenen Verbindung mit dem Conduktor und der gerieben werdenden Glasscheibe oder Röhre selbstständig fortdauert. Die Schwingungen der Atome des einen Staniolblattes, welchem die Vibration von dem Conduktor der Elektrisirmaschine mitgetheilt wurde, haben die Glasatome der Tafel oder Flasche in Zusammenziehung gebracht, und die sich zusammenziehenden Atome haben die Atome des andern von dem ersten getrennten Staniolblattes in Vibration gesetzt. Die Vibration der Atome dieses letzteren Staniolblattes ist aber ebenso eine Bewegungskraft zur Zu-

sammenziehung und Ausdehnung der Glasatome, und folgegemäß zur Unterhaltung oder Erneuerung der Vibration der Atome des von dem Conduktor nun getrennten Staniolblattes, — als vorher die Vibration der Atome dieses ersten Staniolblattes die Ursache oder Bewegungskraft für die Zusammenziehung und Ausdehnung der Glasatome und zur Vibration der Atome des zweiten Staniolblattes gewesen ist. Das ehevor in Bewegung gesetzte setzt nachher das es bewegt habende ebenfalls in Bewegung. So verhält sich also das idioelektrische Glas zwischen den beiden Staniolblättern als eine beständige Elektricitätsquelle, wie ein gerieben werdendes Glas. Die Reibung verrichten einmal die Atome des einen, ein andermal die Atome des andern Staniolblattes.

Ladet man mittels des Conduktors der Elektrisirmaschine das eine Staniolblatt zu stark, so ereignet sich entweder der Fall, daß die Glasatome nicht mehr in dem Maaße sich zusammenziehen und ausdehnen können, als die verstärkten Stöße der vibrirenden Atome des geladenen Staniolblattes es erforderten, und die Folge davon ist eine gewaltsame Ortsveränderung der Glasatome und ein Zerspringen des Glases der Tafel oder der Flasche, — oder es ereignet sich der Fall, daß die sich am nächsten gelegenen Atome beider Staniolblätter die Vibration den Atomen der Luft mittheilen, so daß diese vibrirenden Luftatome sich begegnen und elektrisches Funkensprühen hervorgerufen wird. Letzteres Ereigniß kann nun künstlich herbeigeführt werden, dadurch, daß man statt der Luft eine bessere Leitungsverbindung zwischen den beiden durch das Glas getrennten Staniolblättern herstellt, wie dieß schon oben erwähnt wurde, — was man Entladen der gebundenen Elektricität und, wenn die inneren Staniolblätter mehrerer Leidner'schen Flaschen mittels eines leitenden Drahtes oder Stabes in Verbindung gebracht worden sind, das Entladen einer elektrischen Batterie zu nennen pflegt. Vor der Verbindung der beiden Staniolblätter mittels eines guten Leiters sind die Schwingungen in ein und demselben Moment entweder gegen einander gerichtet oder ihre Bewegungsrichtung ist von einander gehend. Durch die Verbind-

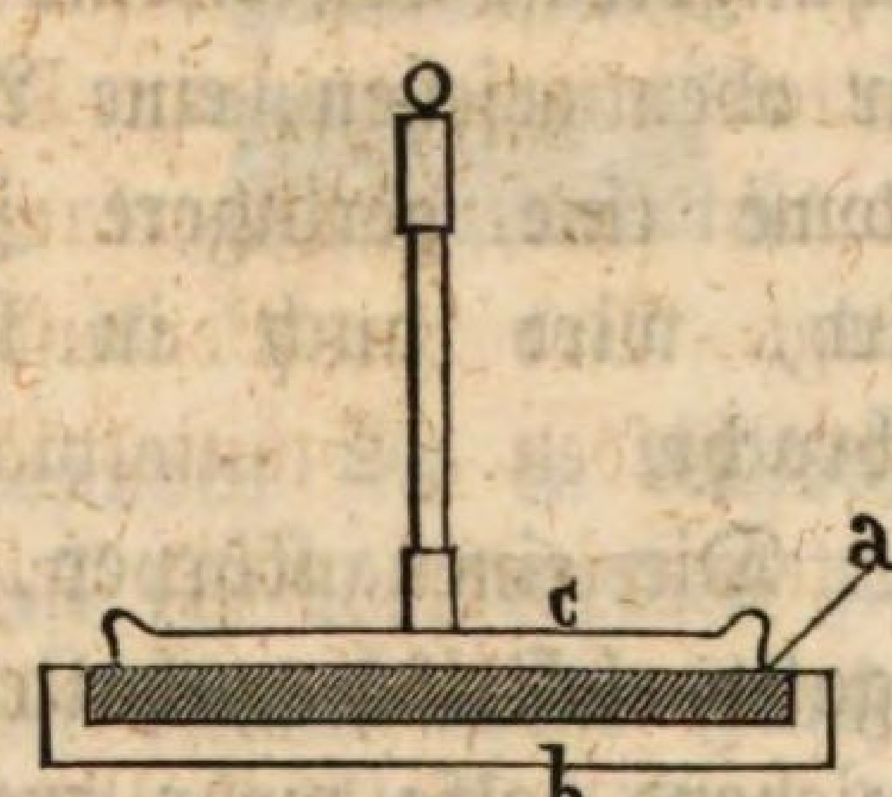


ung der beiden Staniolblätter mit einem leicht in Atomenvibration zu bringenden Körper erfahren die Schwingungen in ein und demselben Moment ein und dieselbe Richtung, es findet eine nur nach einer Richtung gehende elektrische Strömung der beiden vibrirenden Staniolblätter statt, und die Atome der die beiden Staniolblätter trennenden Glasmasse befinden sich inmitten des elektrischen Stromes, sie werden entweder leitend oder abstoßend sich zu den Staniolatomen verhalten,



und hören auf, durch Zusammenziehung und Ausdehnung auf die nachbarlichen Staniolatome Elektricität entwickelnd oder Vibration erregend zu wirken. In dem Aufhören der Vibration erregenden Bewegung der Glasatome besteht das sogenannte Entladenseyn der Franklin'schen Tafel oder der Leidner'schen elektrischen Batterie. Doch nicht gänzlich entladet sich auf den ersten Versuch die Batterie, sondern es sind deren mehrere oder viele nöthig, — die Ausdehnung und Zusammenziehuug der Glasatome hören nicht sogleich auf, beginnen von neuem, was der Grund des sogenannten Rückstandes von Elektricität ist.

Elektrophor. Aehnlich wie die Glasmasse der Franklin'schen Tafel oder der Leidner'schen Flasche durch Zusammenziehung und Ausdehnung ihrer Atome den beiden Staniolblättern elektrische Atomenvibration mittheilt, wird auch eine in Zusammenziehungs- und Ausdehnungsthätigkeit versetzte Harzmasse auf zwei an sie anliegende und durch sie getrennte Metallmassen Atomenvibration erregend wirken. Wir können dieses z. B. an dem von Wilke erfundenen und von Volta verbesserten Elektrophor sehen. Ein Harzkuchen a ist in eine metallene Form b gegossen. Dieser Harzkuchen wird mit einem Fuchsschweife oder einem Katzenpelze gepeitscht, wodurch die Harzatome in Zusammenziehung versetzt werden, welcher Ausdehnung derselben folgen muß.



Setzt man nun auf den Harzkuchen einen metallenen Deckel c mit einer isolirenden Handhabe, so wird durch die Zusammenziehungs- und Ausdehnungsthätigkeit der Harzatome den beiden Metallplatten eine Atomenvibration beigebracht. Nähert man dem metallenen

Deckel den Knöchel eines Fingers, so springt ein elektrischer Funken aus, — und berührt man den Deckel mit dem Finger, so findet wie bei der Leidner'schen Flasche ein elektrischer Strom von den durch den Harzkuchen in Schwingung gebrachten Metallatomen des Deckels durch den menschlichen Körper und den Erdboden, auf welchem dieser ruht, statt. Hebt man den Deckel von dem Harzkuchen vollends ab, so kann man aus dem isolirten Deckel abermals durch Berührung mit einem guten Leiter Funken ziehen, so lange nämlich, als die einmal erregte Atomenvibration der Metallmasse desselben andauert.

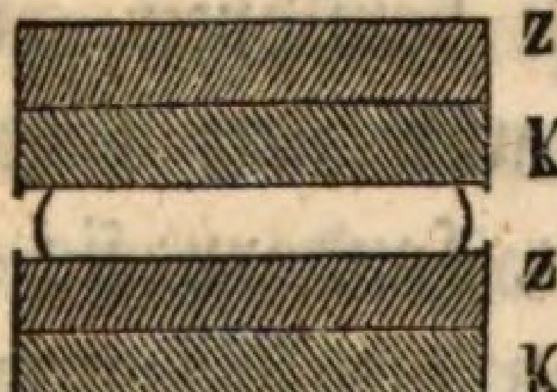
Galvanismus. Eine dritte Art, Elektricität und elektrische Ströme zu entwickeln, ist der Galvanismus. Ludwig Galvani, Professor der Medicin zu Bologna (1786), entdeckte nämlich bei dem anatomischen Präpariren von Froschschenkeln in Folge zufälliger Berührung eines kupfernen im Schenkel des Frosches steckenden Hackens mit dem eisernen Geländer, an welchem der Hacken hing, eine Zuckung des Froschschenkels, welche aufhörte, sobald der Hacken aus dem eisernen Geländer ausgehängt, und wieder sich einstellte, als derselbe wieder an das Eisen eingehängt war. Der Physiker Volta zu Pavia gab dieser Aufsehen erregenden Entdeckung ihre richtige Bedeutung, nämlich daß durch die Berührung zweier gegen einander verschieden elektrisch sich verhaltender Metalle mit einander Elektricität entwickelt werden kann, und nannte sie die Elektricitätsentwicklung durch Contakt. Es besitzen nämlich, wie schon früher und wiederholt bemerkt worden, die verschiedenen Körper einen verschiedenen jedem eigenthümlichen Zusammenziehungsgrad ihrer Atome. Durch die größere Zusammenziehungskraft der Atome des Einen Körpers, in Folge deren, wie wir oben gesehen, eine Anziehung auf einen andern Körper, dessen Atome eine geringere Zusammenziehungskraft besitzen, ausgeübt wird, wird auch in letzterem eine Atomenausdehnung hervorgebracht.

Die einen Körper, welche sich gegen andere anziehend, d. i. negativ elektrisch verhalten, können sich gegen einen dritten weniger anziehend, also mehr ausdehnungsfähig, d. i. positiv elektrisch verhalten. Man hat durch Experimente gefunden, daß z. B. Kupfer gegen Platin sich positiv, Platin gegen Kupfer negativ elektrisch verhält, — daß aber Kupfer gegen Zink sich negativ elektrisch verhält. In folgender Reihe von Körpern verhalten sich die ersteren

positiv zu den übrigen nachfolgenden, — jeder nachfolgende zu allen vorhergehenden negativ elektrisch:

+ Zink
Blei
Zinn
Eisen
Kupfer
Silber
Gold
Platin
— Kohle

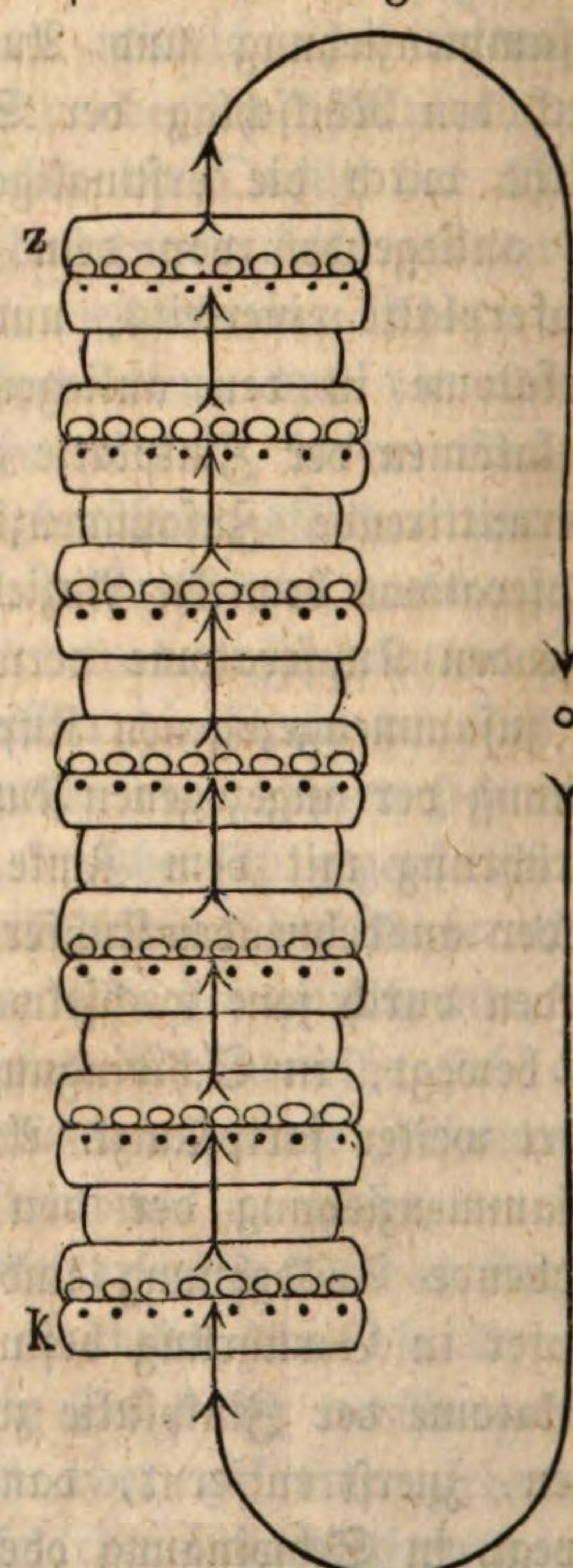
Befinden sich nun zwei verschiedene Metallplatten, z. B. Kupfer und Zink, in enger Berührung mit einander, so wirkt das aus mehr zusammengezogenen Atomen bestehende Kupfer auf das aus weniger zusammengezogenen Atomen bestehende Zink, soweit sich beide und so viel ihre Atome sich einander berühren, raumfreigebend, — die berührten Atome des Zinkes sind hiedurch gezwungen, sich auszudehnen. In dem Zusammenziehungszustande eines Theiles der Atome des Kupfers und in dem Ausdehnungszustande eines Theiles der Atome des Zinkes wirken des Kupfers sich zusammenziehende Atome auf die übrigen Atome des Kupfers anziehend, des Zinkes sich ausdehnende Atome auf die übrigen Atome des Zinkes abstoßend. Ist der beide berührende Körper ein guter Leiter, so werden dessen Atome mit den von dem Zink nicht berührten Kupferatomen und den von dem Kupfer nicht berührten Zinkatomen in Vibration versetzt, welche ihren Bewegungsgrund in der Anziehung des Kupfers und in der Abstoßungskraft des Zinkes hat. Je größer die Flächen des Kupfers und Zinkes, mit denen sie sich einander enge berühren, sind, desto mehr Atome von jenen befinden sich in Zusammenziehungsthätigkeit, und desto mehr Atome von diesen befinden sich in Ausdehnungszustand. Die Größe der Anziehungskraft der Kupferplatte steht in geradem Verhältniß zu der Anzahl der Atome ihrer Flächen, mit denen das Kupfer das Zink berührt, — und deßgleichen steht die Größe der Abstoßungskraft des Zinkes in geradem Verhältniß zu der Anzahl der Atome der Fläche, mit welcher das Zink das Kupfer berührt. Statt aber zur Erreichung einer großen Strom-



stärke sehr ausgedehnte Kupfer- und Zinkplatten anzuwenden, ist es dasselbe, eine Summe von Paaren kleiner Kupfer- und Zinkplatten zu benützen, deren Gesammtanzahl von Kupfer- und Zinkatomen, die sich einander berühren, gleich ist der Anzahl der Atome der Berührungsflächen nur Eines Paares großer Kupfer- und Zinkplatten. Auf diesem Verhältniß beruhen nun die verschiedenen Vorrichtungen zur Erzeugung galvanisch-elektrischer Ströme. Volta hat die Plattenpaare in einer Säulenform auf einander gelegt, und es heißt eine solche Vorrichtung die Volta'sche Säule. Auf eine Kupferplatte wird eine Zinkplatte von derselben Größe, auf diese eine feuchte Scheibe von Tuch oder Pappe, hierauf wieder eine Kupfer-, auf diese wieder eine Zinkplatte, und auf diese wieder eine feuchte Scheibe, und so fort in derselben Ordnung eine beliebige Anzahl von Kupferzinkplattenpaaren (20—100) gelegt, zwischen deren je zweien immer eine feuchte Scheibe liegt. Ist die unterste Lage eine Kupferlage, so muß die oberste eine Zinklage seyn. Wird nun die unterste Kupferplatte mittels eines Leitungsdrahtes in Verbindung gebracht mit der obersten Zinkplatte, so findet ein elektrischer Strom statt, welcher die Quelle der Kraft, von der die Atome des leitenden Verbindungsdrahtes angezogen werden, in der Summe der sich zusammenziehenden Atome der Zinkberührungsflächen sämmtlicher Kupferplatten, und die Quelle der Kraft, von welcher dieselben abgestoßen werden, in der Summe der sich ausdehnenden Atome der Kupferberührungsflächen sämmtlicher Zinkplatten hat. Jene Atome der Kupferplatten, welche nicht in unmittelbarer Berührung mit den Atomen der Zinkplatten sind, und jene Zinkatome, welche nicht unmittelbar die Atome der Kupferplatten berühren, ziehen sich nicht zusammen oder dehnen sich nicht aus, wie jene Kupfer- und Zinkatome, welche sich gegenseitig berühren, sondern sie erleiden eine Ortsveränderung, die Kupferatome eine an die sich zusammenziehende Atomenreihe sich annähernde, die Zinkatome eine von der sich ausdehnenden Atomenreihe sich entfernende. Die Annäherung der Kupferatome durch die Zusammenziehung der das Zink berührenden Kupferatome an diese, — und die Entfernung der Zinkatome durch die Ausdehnung der das Kupfer berührenden Zinkatome von diesen muß ebenfalls, wie die Bewegung der Metallatome eines Conduktors in Folge der vorübergehenden Annäherung der sich ausdehnenden oder zusammenziehenden Atome einer gerieben werdenden Glastafel eine intermittirende, un-

terbrochene, zeitweise, nicht ununterbrochen fortgesetzte seyn. Bei der Berührung der Kupferatome durch die Zinkatome ziehen sich nämlich die Kupferatome zusammen. Diese Zusammenziehung der berührten Kupferatome ist aber keine bleibende, sondern nur eine vorübergehende, es muß auf sie eine Ausdehnung erfolgen. Deßgleichen kann die durch die Zusammenziehung der Kupferatome bewirkte Ausdehnung der mit diesen in Berührung sich befindlichen Zinkatome nur so lange dauern, als die Ursache derselben, die Zusammenziehung der Kupferatome, gedauert hat. Es folgt auf sie nach dem Beginn der Wiederausdehnung der Kupferatome eine Zusammenziehung der berührten Zinkatome. Wenn man auch annimmt, daß diese Zusammenziehung und Wiederausdehnung der von dem Zink berührten Kupferatome, und die hiedurch bedingte Ausdehnung und Wiederzusammenziehung der von dem Kupfer berührten Zinkatome nur ein einmaliges Stattfinden haben würde, so würde dennoch eine abermalige und fortwährend sich wiederholende Zusammenziehung und Ausdehnung der Kupfer- und Zinkatome durch den Rückschlag der Schwingbewegung hervorgerufen werden, welche durch die erstmalige Zusammenziehung der Kupferatome in den anliegenden von dem Zink nicht berührten Kupferatomen der Kupferplatte einerseits, und durch die erstmalige Ausdehnung der Zinkatome in den anliegenden von dem Kupfer nicht berührten Zinkatomen der Zinkplatte anderseits erregt wird. Die durch die intermittirende Zusammenziehung der von dem Zink berührten Kupferatome bewirkte Anziehung und Annäherung der an jene anliegenden Kupferatome verwandelt sich nach dem Wiederausdehnen der zusammengezogenen Kupferatome in eine Abstoßung oder Entfernung der angezogenen Kupferatome, d. i. die an den in Folge der Berührung mit dem Zinke sich zusammenziehenden und dann sich wieder ausdehnenden Kupferatomen anliegenden andern Kupferatome werden durch jene wechselweise angezogen und abgestoßen, hin und her bewegt, in Schwingung oder Vibration versetzt, welche sich sofort weiter fortpflanzt. Anderseits werden durch die in Folge der Zusammenziehung der von dem Zink berührten Kupferatome sich ergebende Ausdehnung und Wiederzusammenziehung der mit dem Kupfer in Berührung befindlichen Zinkatome die ihnen anliegenden Zinkatome der Zinkplatte zuerst abgestoßen und dann wieder angezogen, zuerst entfernt, dann wieder angenähert, also hin und her bewegt, in Schwingung oder Vibration versetzt, welche ebenfalls so

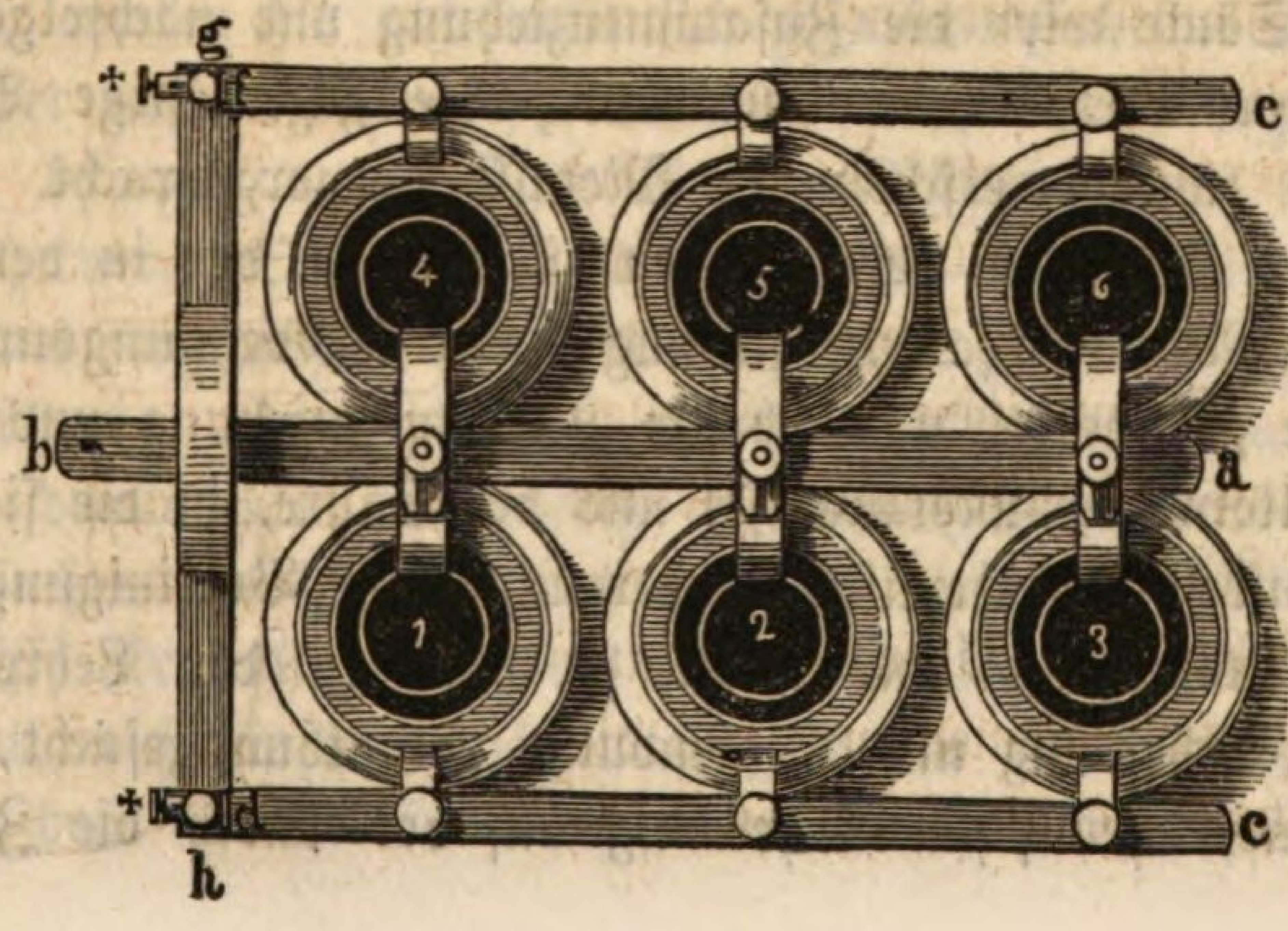
fortgeleitet wird. Die Fortleitung der anziehenden und abstoßenden Bewegungskraft an der Kupferplatte, und der abstoßenden und anziehenden Bewegungskraft an der Zinkplatte wird durch die Atome der die Kupferzinkplattenpaare von einander scheidenden feuchten Pappscheibe fortgeleitet. Die Vibration wird aber von diesen auch durch und von den Atomen des nächsten und der folgenden Kupferzinkplattenpaare und die diese scheidenden feuchten Pappscheiben fortgeleitet. Auf diese Weise werden auch die sich einander berührenden Kupfer- und Zinkatome mit in die Vibration versetzt, von welchen durch ihre Zusammenziehung und Ausdehnung die Vibration der anliegenden Atome zuerst erzeugt wurde. Wird nun die unten an dem einen Ende der Säule angebrachte Kupferplatte mittels eines Leitungsdrahtes mit der an dem andern Ende der Volta'schen Säule, oben angebrachten Zinkplatte in Verbindung gesetzt, so besteht durch die ganze Säule und den Leitungsdraht ein elektrischer Strom. Die erste Strömung nach dem Zinkende ist die Wirkung der Anziehung der zusammengezogenen Kupferatome und der Ausdehnung der Zinkatome, — die ihr folgende Strömung nach dem Kupferende ist die Wirkung der Wiederzusammenziehung der ausgedehnten Zinkatome, und der Wiederausdehnung der zusammengezogenen Kupferatome, — die folgenden Strömungen sind die Folge der durch jene bewirkten Vibrationen der sämmtlichen Atome der Säule. In dem nebenstehenden Schema einer Volta'schen Säule sind die sich ausdehnenden Zinkatome als Kreise, die zusammengezogenen Kupferatome als Punkte bezeichnet, — die Richtung des eben stattfindenden Stromes bezeichnen die Pfeile, die Pfeilenspitzen die Stellen der Anziehung, die Pfeilenschweife die Stellen der Abstoßung.



Die Volta'sche Säule, aus auf einander gelegten Elementen, wie die einzelnen Theile genannt werden, be-

stehend, wurde wegen des Umstandes, daß die untern Pappscheiben zu sehr gedrückt und daher des größten Theiles der Flüssigkeit, mit der sie getränkt waren, entledigt werden, in eine liegende Reihe oder Kette von galvanischen Elementen verwandelt. Der erste der Art war der lange Zeit in allgemeinem Gebrauch gestandene Trogapparat, aus einem innen mit einer Harzschicht überzogenen hölzernen Kasten bestehend, der mit einer gesäuerten Flüssigkeit angefüllt war und in dessen Abtheilungen die an einander gelötheten viereckigen Kupfer- und Zinkplatten gesteckt wurden. Bei andern galvanischen Apparaten befindet sich die Flüssigkeit in getrennten Gefäßen, die kreisförmig oder in gerader Linie zusammengestellt sind. Jedes Gefäß enthält eine Zink- und eine Kupferplatte, die sich aber mit ihren Flächen nicht berühren, sondern mittels kupferner Streifen oder Drahtstücken mit einander in Verbindung stehen. Den Zink- und Kupferplatten wurden hiernach verschiedene Formen gegeben, z. B. jene von Cylindern. Grove hat statt Kupfer Platin in Gebrauch gesetzt, und Bunsen statt Kupfer die am meisten gegen Zink sich negativ elektrisch verhaltende Holzkohle in Anwendung gebracht. Die Zinkkohlenbatterie ist billiger als die Zinkplatinbatterie, letztere aber ist von geringerem Volumen, und daher bequemer zum Experimentiren geschaffen. Nebenstehende Figuren zeigen von oben einige Elemente der Bunsen'schen Batterie und die Art der Verbindung mittels Metallstreifen der Zink- und Kohlencylinder mit einander.





Nach Wheatston's Vorschlag wurde den galvanischen Batterien auch der Name Rheomotoren gegeben. Statt des anfangs bei der Volta'schen Säule in Gebrauch gewesenen Wassers, mit welchem die Pappscheiben befeuchtet waren, wurde nun wieder bei den späteren und jetzigen galvanischen Batterien verdünnte Säure, besonders Salpeter-, Schwefel- oder Salzsäure in Anwendung gezogen. Durch die Säure erleiden aber die Metalle eine chemische Zersetzung, und sie werden selbst zersetzt. Es entstand daher ein großer Streit zwischen den Physikern, von denen die einen die Quelle der durch eine galvanische Batterie erzeugten Elektricität nach Volta in dem Contakt zweier verschiedener Metalle, die andern in dem chemischen Zersetzungsproceß suchten. Nach Schönbein's Ansicht ist die Elektricitätserregung eines Plattenpaars, welches in eine erregende, sie zersetzende Flüssigkeit eingetaucht ist, die Folge der ungleichen Verwandtschaft der Elemente der zersetzenden Flüssigkeit zu den beiden Metallplatten.

Nach unserer Ansicht sind die heutigen Tages in Gebrauch stehenden galvanischen Batterien in ihrem Princip zum Theil von der alten Volta'schen Säule geänderte. Die Quelle der durch alle galvanischen Batterien erzeugten Elektricität besteht in der in diesen Apparaten hervorgerufenen Atomenzusammenziehungs- und Ausdehnungsthätigkeit und die Stärke, mit welcher sie einen elektrischen Strom bewirken, in der Summe der in Zusammenziehung und Ausdehnung gebrachten Atome der Elemente einer galvanischen Batterie. Bei der alten Volta'schen Säule und der von Zamboni errichteten, aus vielen (1000—20,000) Paaren von auf Papier mittels Kleister aufgepappten dünnen Zinn- und Kupferbelegen (unächtem Silber- und Goldpapier) zusammengesetzten sogenannten trockenen Säule wird die Zusammenziehung und nachfolgende Ausdehnung der Metallatome nur durch die gegenseitige Berührung der Atome zweier verschiedener Metalle hervorgebracht. Bei den galvanischen Batterien der Jetztzeit ist aber zu der in dem Contakt bestehenden Atomenzusammenziehungs- und Ausdehnungsursache noch eine zweite gekommen, nämlich die Zusammenziehung und Ausdehnung der Atome der Metallmasse und der Säure, in die sie getaucht werden, durch die chemische Scheidung oder Vereinigung der bezüglichen Atome; — wir haben ja oben in der Lehre von der chemischen Scheidung und Verbindung darzuthun gesucht, daß der Grund einer chemischen Scheidung auf der durch die Zusammen-

ziehung von Atomen eines Körpers a bewirkten Ausdehnung der Atome eines andern Körpers b beruhe, und daß die chemische Vereinigung zweier Atome in dem An- und Insichhineinziehen des ausgedehnten Atomes in das sich eben zusammenziehende Atom besteht. Atome aber, welche sich zusammenziehen oder ausdehnen, üben auf ihre Nachbaratome, welche eben nicht im Scheidungs- oder Vereinigungsakt begriffen sind, eine anziehende oder abstoßende Kraft aus, bringen sie in Vibration, wie wir schon vielleicht zu oft des nähern erläutert haben, — sie sind die Veranlassung zu einer elektrischen Strömung. Im Grunde beruht ja eine chemische Lysis oder Synthesis auch auf der gegenseitigen Berührung zweier (oder mehrerer) verschiedener Atome, und es kann mit allem Rechte der durch den Galvanismus hervorgerufenen elektrischen Bewegung der Name der „Elektricitätsentwicklung durch Contakt" im Gegensatze zu der „Elektricitätsentwicklung durch Reibung" beibehalten bleiben. In den alten Volta'schen Säulen wird die Atomencontraction und Expansion nur durch die gegenseitige Berührung der beiden Metallplatten allein, — in den Rheomotoren aber nicht nur und zum Theil in der gegenseitigen Berührung zweier Metalle (oder Kohle), sondern auch zum Theil in der Berührung der Metall- und Kohlenatome durch die Atome der elektrolytischen Flüssigkeit, der angewendeten Säure hervorgebracht.

Elektricitätsentwicklung durch Erwärmung. Gleich der Atomenzusammenziehung und Ausdehnung bei chemischen Lysen und Verbindungen erzeugt auch die Atomenausdehnung und Zusammenziehung durch Erwärmung und Erkaltung elektrische Bewegung. Die Atome der erwärmten Körper sind in Ausdehnungsthätigkeit, und so lange diese im Zunehmen ist, so lange die Erwärmung erhöht wird, wirken sie auf nicht sich zusammenziehende Atome anderer Körper positiv elektrisch, d. i. sie verhalten sich gegen diese abstoßend, bringen durch Stoß die eine Ursache eines elektrischen Stromes hervor. Sobald sie aber anfangen zu erkalten, also sich wieder zusammenzuziehen, verhalten sie sich gegen nicht sich ausdehnende Atome anderer Körper negativ elektrisch, d. i. ziehen sie an, geben durch ihre nunmehrige Anziehungskraft die andere der beiden Ursachen zur Hervorbringung eines elektrischen Stromes ab.

Gewisse Krystalle, besonders der Turmalin, besitzen die Eigenthümlichkeit, daß sie in erwärmtem Zustande an dem einen Ende positiv, an dem andern Ende negativ elektrisch sich verhalten. Im

Erkaltungszustande wird das während des steigernden Erwärmungszustandes positiv elektrisch sich verhaltende Ende negativ, und das vorher negative elektrische Ende positiv elektrisch reagirend. Es scheint, daß die Ausdehnung der Atome des erwärmt werdenden Turmalins nur nach Einer Richtung hin stattfindet, daß, während sie sich an dem einen Ende ausdehnen, sie an dem andern Ende sich zusammenziehen, und wenn das ausgedehnte Ende sich wieder zusammenzieht, das zusammengezogene Ende derselben sich wieder ausdehnt, bis entweder durch übermäßige Erwärmung (150°) die Ausdehnung der Turmalinatome vollkommen, oder bei der Erkaltung (unter 10°) die Wiederzusammenziehung vollständig stattgefunden hat. Weder in dem Zustande der vollkommen allseitigen Ausdehnung, also in dem Aufhören der Ausdehnungsthätigkeit, — noch in dem Zustande vollständiger Zusammenziehung, also in dem Aufhören der Zusammenziehungsthätigkeit zeigt der Turmalin elektrische Reaktion.

Werden zweierlei Metalle, z. B. ein Wismuthstab und ein Kupferdraht an ihren beiden Enden an einander gelöthet, so daß sie einen Ring oder ein Viereck bilden, und wird die eine Löthstelle, an der sich beide Metalle gegenseitig berühren, mittels einer Weingeistflamme erwärmt, so läßt sich durch den aus beiden Metallen gebildeten Ring oder das Viereck ein elektrischer Strom wahrnehmen. Die Richtung dieses Stromes ist je nach der relativen Ausdehnungs- und Zusammenziehungsfähigkeit beider Metalle oder je nach der größern oder geringern Leitungsfähigkeit derselben eine verschiedene. Diese Richtung des thermoelektrischen Stromes (wie er von seinem Entdecker Seebeck genannt wurde) verwandelt sich bei ein und demselben Metallpaar in die entgegengesetzte Richtung, wenn dieselbe Löthstelle statt erwärmt, durch Eis erkaltet wird. Wird z. B. die Löthstelle, an der Wismuth und Kupfer vereinigt sind, erwärmt, so geht der thermoelektrische Strom von dem Wismuth durch die erwärmte Löthstelle zu dem Kupfer und durch dieses zur entgegengesetzten Löthstelle. Wird jene aber erkaltet, so geht der elektrische Strom von dem Kupfer durch die erkaltete Löthstelle zu dem Wismuth und durch dieses zur entgegengesetzten Löthstelle. Durch Versuche ist man zu der Erfahrung gekommen, daß von den nachstehenden Metallen, wenn man je zwei davon wie oben zusammenlöthet, und an der einen Berührungsstelle erwärmt, an dieser erwärmten Löthstelle der positive Strom von dem in der

Reihe später angeführten Metalle zu dem früher angeführten Metalle übergeht, als: Antimon, Arsenik, Eisen, Zink, Gold, Kupfer, Messing, Rhodium, Blei, Zinn, Silber, Mangan, Kobalt, Palladium, Platin, Nickel, Quecksilber, Wismuth.

Durch die Flamme wird nämlich das eine der an der Löthstelle verbundenen Metalle schneller in Atomenausdehnung versetzt, oder durch künstliche Kälte zur Atomenzusammenziehung gezwungen, als das andere, weil von zweierlei Metallen das eine auch eine größere oder geringere Atomenausdehnungs- und Zusammenziehungsfähigkeit als das andere besitzt. Es hängt nun von der größern oder geringern Leitungsfähigkeit des einen oder andern Metalles ab, ob die Atome von jenem oder diesem zuerst durch die sich ausdehnenden Atome in Vibration gebracht werden. Dasjenige der beiden Metalle, dessen Atome durch den Stoß der durch die Flamme ausgedehnten Atome zuerst in Lokomotion, Erzitterung gebracht werden, pflanzt nun den von der Ausdehnungsthätigkeit an der Löthstelle erzeugten thermoelektrischen Strom zur entgegengesetzten Löthstelle fort. Dasselbe, nur im umgekehrten Sinn, ist bei dem künstlichen Erkalten der einen Löthstelle der Fall.

Sowie man mehrere Volta'sche Elemente, so hat man auch mehrere thermoelektrische Elemente auf oder an einander gereiht, und indem von je zwei an einander gelötheten Metallstücken immer nur die eine Löthstelle, also z. B. die Löthstelle 1, 3, 5, 7 u. s. f. erwärmt oder erkaltet wird, — so ist dadurch eine thermoelektrische Säule geschaffen.

Wird das Eine Ende eines eisernen Drahtes in der Weingeistflamme bis zum Anlaufen erhitzt, so daß jenes in einem erhöhten Grade von Atomenausdehnung sich befindet, während das unerhitzte Eisendrahtende in natürlichem Atomenzusammenziehungszustande geblieben ist, so wirken beide Enden, eingetaucht in eine Elektricität leitende Flüssigkeit, z. B. Salpetersäure von 1,35 spec. Gewichtes, wie zwei verschiedene Metalle auf einander, z. B. wie Platin zu Zink oder unerhitztem Eisen. Durch die Erhitzung werden die Atome des Eisendrahtes ausgedehnt, und während ihres darauf erfolgenden allmähligen Zusammenziehens (so scheint es mir) wirken sie anziehend, also negativ elektrisch, während die Atome des andern unerhitzten Drahtendes hiedurch in elektrische Vibration versetzt werden. Daß durch das Erhitzen und den darauf folgenden negativ elektrischen Zustand des einen Endes des Eisendrahtes das andere

nicht erhitzte Ende desselben in einen positiv elektrischen Zustand versetzt, und in diesem elektrischen Bewegungszustand von der Salpetersäure nicht angegriffen wird, beweist der Umstand, daß auch ein ungeglühter Eisendraht, wenn er vorher mit einem in Salpetersäure eingetauchten Platindraht in Berührung gebracht wird, und dann in dieselbe Säure eingetaucht während der Dauer der Eintauchung in der Berührung mit dem Platindrahte bleibt, — der Eisendraht von der Säure nicht angegriffen wird, was aber der Fall ist, sobald der Eisendraht für sich allein in die Säure getaucht worden ist.

Die negativ elektrische Eigenthümlichkeit erhält auch das Eisen, wenn es in concentrirte Salpetersäure getaucht wird; in Salpetersäure unter 1,35 spec. Gewichtes getaucht, wird es oxydirt und erlangt die elektronegative Eigenschaft nicht, sondern bleibt positiv elektrisch. Man kann daher eine galvanische Batterie von Eisen, also aus nur Einem Metall, construiren, aus Eisenplatten bestehend, von denen je eine in concentrirte Salpetersäure, die andere in verdünnte Schwefelsäure getaucht ist. Jene in concentrirter Salpetersäure wirkt negativ elektrisch, d. i. versetzt durch Atomenzusammenziehung und Anziehung der Nachbaratome diese in Vibration, — jene in verdünnter Schwefelsäure wirkt positiv elektrisch, d. i. versetzt durch Atomenausdehnung und also Abstoßung die Nachbaratome in Vibration. In der verdünnten Schwefelsäure eingetaucht wird das positiv elektrisch wirkende Eisen ebenfalls nicht von jener oxydirt. Diese Eigenschaft des Eisens, sich nicht zu oxydiren in sauren Flüssigkeiten, in denen es sich unter andern gewöhnlichen Verhältnissen sehr wohl oxydiren würde, heißt man Passivität des Eisens. Man glaubte und glaubt noch, daß der Grund derselben in einer dünnen Schicht von Oxydul liege, mit der es beim Erhitzen überzogen würde, und vermuthet auch, daß eine solche beim Eintauchen in eine concentrirte Salpetersäure um das eingetauchte Eisenstück ebenfalls gebildet werde. Allein es ist dabei zu bedenken, daß diese dünne Oxydulschicht an dem ungeglühten Ende sich nicht befindet, und dieses dennoch von der Säure nicht angegriffen wird, während ein heftiger Angriff erfolgt, wenn man das ungeglühte Drahtende in die Flüssigkeit eintaucht, ohne daß das geglühte Ende sich schon darin befindet. Auch ist zu erwägen: wenn man an einer galvanischen Batterie an das negative Ende einen Platindraht, und an das positive Ende einen gewöhnlichen

Eisendraht befestigt, das freie Ende des Platindrahtes in ein Gefäß mit concentrirter oder verdünnter Salpeter-, Schwefel- oder Phosphorsäure eintaucht, und hierauf erst das freie Ende des Eisendrahtes, so wird das eingetauchte Ende des Eisendrahtes nicht von der Säure angegriffen. Wird aber der am positiven Pol der galvanischen Batterie befestigte Eisendraht vor dem Platindraht in die saure Flüssigkeit eingetaucht, so wird er angegriffen; ebenso wenig wird derselbe passiv, wenn man ihn abgetrennt vom positiven Pol der Batterie in die saure Flüssigkeit taucht, mag der am negativen Pol befestigte Platindraht bereits in dieselbe eingetaucht seyn oder nicht. Es ist dazu, daß der Eisendraht passiv gemacht wird, nöthig, daß der elektrische Strom schon durch ihn geht, also daß die Atome des Eisendrahtes in Vibration versetzt sind. Der Grund der Passivität des Eisens liegt in dem Zustande der elektrischen Schwingung, in der Atomenvibration, welche dem einen Eisendrahtende am positiven Pol der galvanischen Säule durch den galvanischen Strom, — bei dem Eintauchen des andern Endes in concentrirte Salpetersäure durch die Zusammenziehung der Atome desselben, — bei dem Glühen des andern Endes durch die nach der Ausdehnung der erwärmten Atome folgende Zusammenziehung derselben, — und bei dem Berühren mit dem Platindraht durch die Atomenausdehnung der von den sich zusammenziehenden Platinatomen berührten Eisenatome und der darauf folgenden Ausdehnung derselben mitgetheilt wird. Das Eisen ist in dem Zustande der sogenannten Passivität, welche übrigens mit ihm noch einige andere Körper, namentlich Wismuth, Kupfer, Zinn, obwol in geringerem Grade gemein haben, — in einer eigentlichen Aktivität, seine Atome sind in Vibrationszustand, und während sie in einem solchen sind, also während sie weder sich ausdehnend noch sich zusammenziehend von einem abwechselnd sich ausdehnenden und zusammenziehenden Körper von ihrer Stelle weg und wieder hin verrückt werden, sind sie nicht in der Möglichkeit (Disposition), Zweckes einer chemischen Verbindung oder Scheidung sich auszudehnen und zusammenzuziehen.

Wir haben schon oben erwähnt, daß ein Leitungsdraht, durch welchen ein starker elektrischer Strom geht, also dessen Atome in heftiger Vibration sich befinden, an seinen Querdurchschnittsgrenzen in Folge der Schwingungen, die er den angrenzenden Luftatomen mitgetheilt hat, elektrische Lichterscheinungen hervorbringt, — wir haben hier noch hinzuzufügen, daß ein Leitungsdraht, dessen Atome

durch einen starken elektrischen Strom in heftiger Vibration sind, auch Eisenfeilspäne, kleine Eisentheilchen an sich zieht, welche übrigens wieder abfallen, sobald der Strom im Leitungsdraht, d. i. sobald die Vibration der Atome des letztern aufgehört hat, sowie auch die den Draht umgebende elektrische Lichterscheinung nach Aufhören des Stromes nicht mehr vorhanden ist. Die Anziehung der kleinen Eisentheilchen scheint nämlich dadurch zu erfolgen, daß während des Hinschlages der schwingenden Atome momentan zwischen einem und dem andern Atom ein Raum frei ist, in welchen die Eisentheilchen einzudringen genöthigt sind. Nachdem nun die Eisenatome in Berührung mit den Atomen des Leitungsdrahtes gekommen sind, wird von diesen ihnen auch sogleich die Atomenvibration mitgetheilt, so es hierauf kommt, daß diese in Atomenvibration gerathenen Eisentheilchen während des Fortganges des elektrischen Stromes, an dem sie Antheil nehmen, auch in dem Zustande sind, Eisenfeilspäne anzuziehen.

Magnetismus. Die Kraft, Eisenfeilspäne anzuziehen, besitzt aber das Eisen in einer in der Natur vorkommenden Zusammensetzung mit Sauerstoff, als Eisenoxyduloxyd, als sogenanntes Magneteisen, von der alten Stadt Magnesia in Lydien so genannt, in deren Nähe man im Alterthum schon dieses Eisenerz gefunden und dessen eigenthümliche Anziehungskraft erkannt hat. Im Verlaufe der Zeit hat man diese Kraft auch an dem Nickel- und Kobaltmetall entdeckt. Der natürliche Magnetstein zieht nämlich metallisches Eisen und am leichtesten kleine Theilchen davon an sich, hält es mit einer Kraft fest, die häufig um vieles größer ist, als das eigene Gewicht desselben. Bringt man größere Stücke metallischen Eisens in die Nähe von Magneten, so scheinen sie in einer Entfernung von einigen Linien von denselben gleichsam leichter zu werden, werden gegen seine Oberfläche hingezogen und bleiben an derselben hängen, und es bedarf einer gewissen Kraft, um beide wieder von einander loszureißen. Noch sichtbarer wird die Anziehung, wenn man eine eiserne Kugel, die an einer Pendelschnur hängt, in die Nähe eines Magnetes bringt, und die Kugel bei ruhiger Haltung des Pendels zu dem Magnet hingezogen wird. Wenn man ein Stück Magneteisen mit einem Ende in Eisenfeilspäne taucht, so sieht man, daß die Eisenfeilspäne sich an seiner Oberfläche anhängen, — ferner, daß an die schon angehängten Eisentheilchen sich andere Eisentheilchen, und so weiters an diese

wieder dritte und so fort andere Eisentheilchen anhängen, und so sich Büschel derselben von der Länge einiger Linien bilden. Aus letzter Erscheinung ist ersichtlich, daß metallisches Eisen, in Berührung gebracht mit dem Magneteisenstein, dem in der Natur vorkommenden Eisenoxydoxydul, diese nämliche Fähigkeit erlangt, wieder metallisches Eisen anzuziehen. In der That wird ein Stück Eisen, welches längere Zeit in Berührung mit dem Magneteisen gebracht ist, in einen Magnet, d. i. einen Körper, welcher metallisches Eisen an sich zieht, verwandelt. Man nennt ein metallisches Eisen, vorzüglich gehärtetes Eisen (Stahl), welches die Kraft erlangt hat, Eisen an sich zu ziehen, zum Unterschied von dem Magneteisenerz, dem natürlichen, einen künstlichen Magnet.

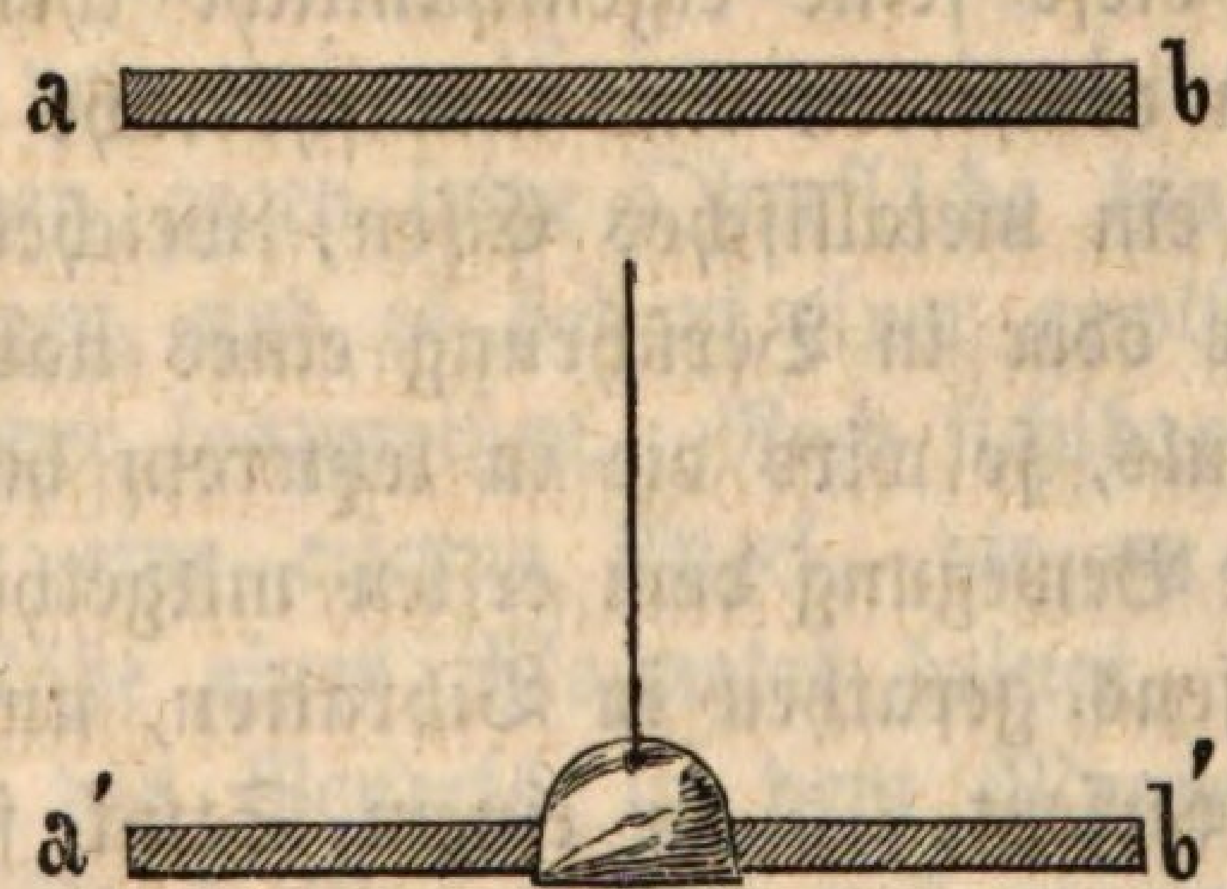
Nach unserer Auffassung muß der natürliche Magnetstein, das Eisenoxydoxydul in beständiger Atomenvibration begriffen seyn. Der wahrscheinliche Grund derselben ist die Eigenthümlichkeit seiner chemischen Zusammensetzung. Das Magneteisenerz besteht aus Eisenoxyd $F_2 O_3$ und Eisenoxydul F O, aus einem Aequivalent Eisenoxyd und einem Aequivalent Eisenoxydul, eine Zusammensetzung, welche unseres Wissens bei allen andern Metallen nicht vorkömmt. Ich sehe den Magnetstein als eine natürliche galvanische Batterie an, deren Elemente aus zweierlei Körpern, dem Eisenoxyd und dem Eisenoxydul bestehen. Die größere Atomenzusammenziehungsfähigkeit des einen Elementes, des Eisenoxydes, verursacht in dem andern, dem Eisenoxydul, eine Atomenausdehnung, diese beiden geben, wie wir zum öftern schon erläuterten, eine abwechselnde abstoßende und anziehende Bewegungsquelle ab, und versetzen die Nachbaratome in schwingende Bewegung, in Vibration, — es besteht, so lange der natürliche Magnet diese seine eigenthümliche chemische Zusammenbesetzung behält, in demselben eine unaufhörliche elektrische Strömung. Kömmt nun ein metallisches Eisen, weiches oder gehärtetes, Stahl, in die Nähe oder in Berührung eines natürlichen Magnets, eines Eisenoxydoxyduls, so wird die in letzterem herrschende Atomenvibration, elektrische Bewegung dem ersten mitgetheilt, — die Atome des metallischen Eisens gerathen in Vibration, und sie sind in elektrische Bewegung versetzt, — in einem Stück solchen mit einem Eisenoxydoxydul längere oder kürzere Zeit in Berührung stehenden oder gewesenen metallischen Eisens herrscht ein von außen unterhaltener elektrischer Strom, an seinem einen Ende ist der Hinschlag, an seinem andern Ende der Rückschlag seiner schwingenden Atome, —

an dem Einen Ende also ist Abstoßungs-, an dem andern Ende Anziehungsbewegung wahrzunehmen, jene dem positiven, diese dem negativen Elektricitätspol entsprechend.

Wird ein längliches Stück weiches oder gehärtetes Eisen, ein



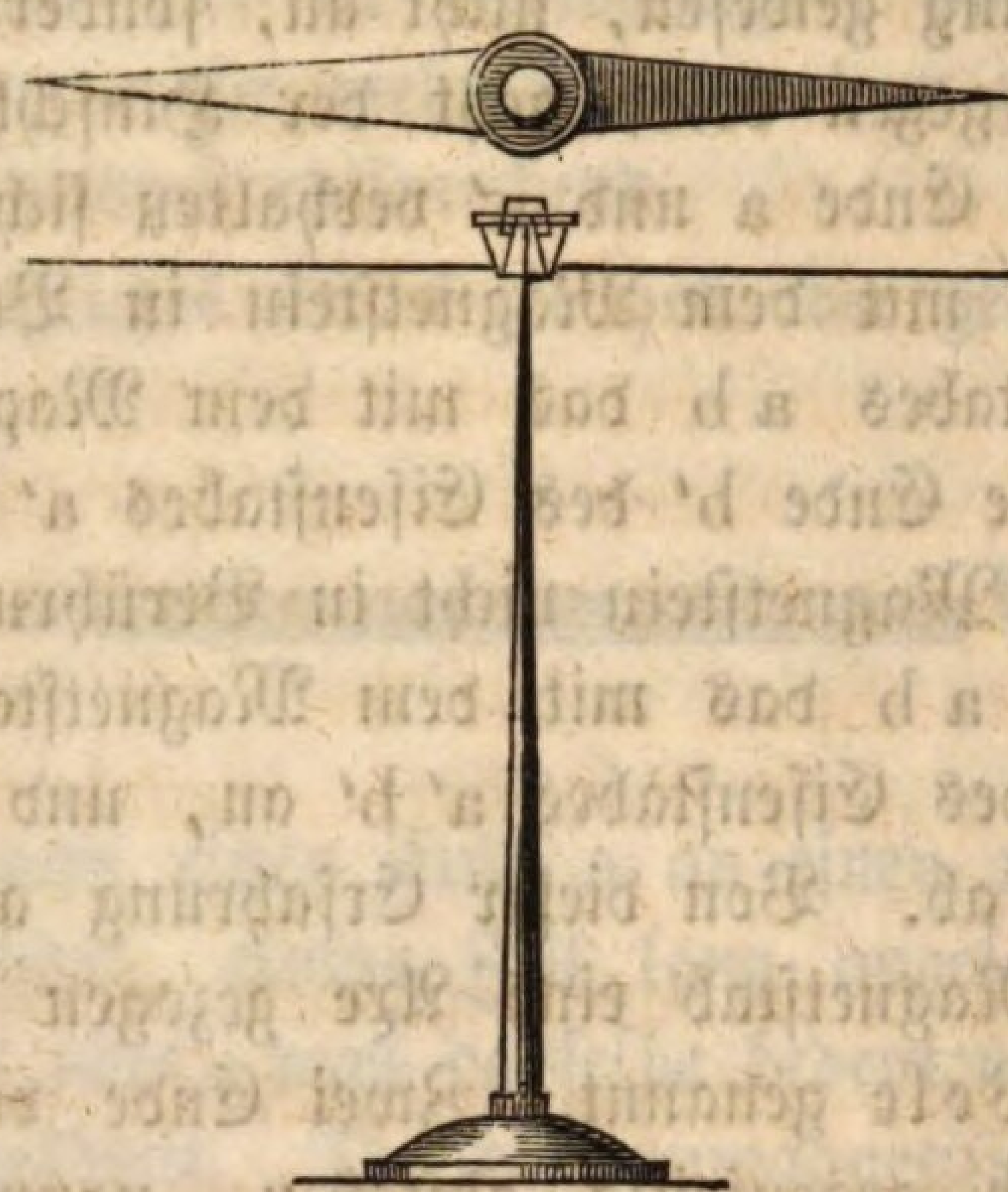
Eisenstab mit seinem einen Ende a an einen natürlichen Magnetstein, Eisenoxydoxydul, einige Zeit lang angelegt, so wird jenem a b ein elektrischer oder, was dasselbe bedeuten soll, ein magnetischer Strom mitgetheilt. Da das unmagnetisirte Eisen von dem Magnetstein angezogen wird, so erfolgt in ersterem eine Atomenvibration, ein elektrischer oder magnetischer Strom, welcher seinen Zug gegen den Magnetstein hin hat, der Hinschlag der vibrirenden Atome des angezogenen Eisenstabes erfolgt gegen den Magnetstein, in der Richtung gegen den Magnetstein und gegen das Ende a hin, welches mit jenem in Berührung ist, — der Rückschlag aber gegen das Ende b des Eisenstabes hin. Wird nun ein also durch die Berührung mit einem Magnetstein magnetisirter Eisenstab mit einem andern, zweiten, noch nicht magnetisirten Eisenstab in Berührung gebracht, so verhält sich der in den schon magnetisirten Eisenstab a b gehende magnetische Strom so, daß das Ende a, zu welchem der Hinschlag der Atomenschwingung stattfindet, positiv elektrische, — das Ende b, gegen welches der Rückschlag gerichtet ist, negativ elektrische Wirkung äußert.



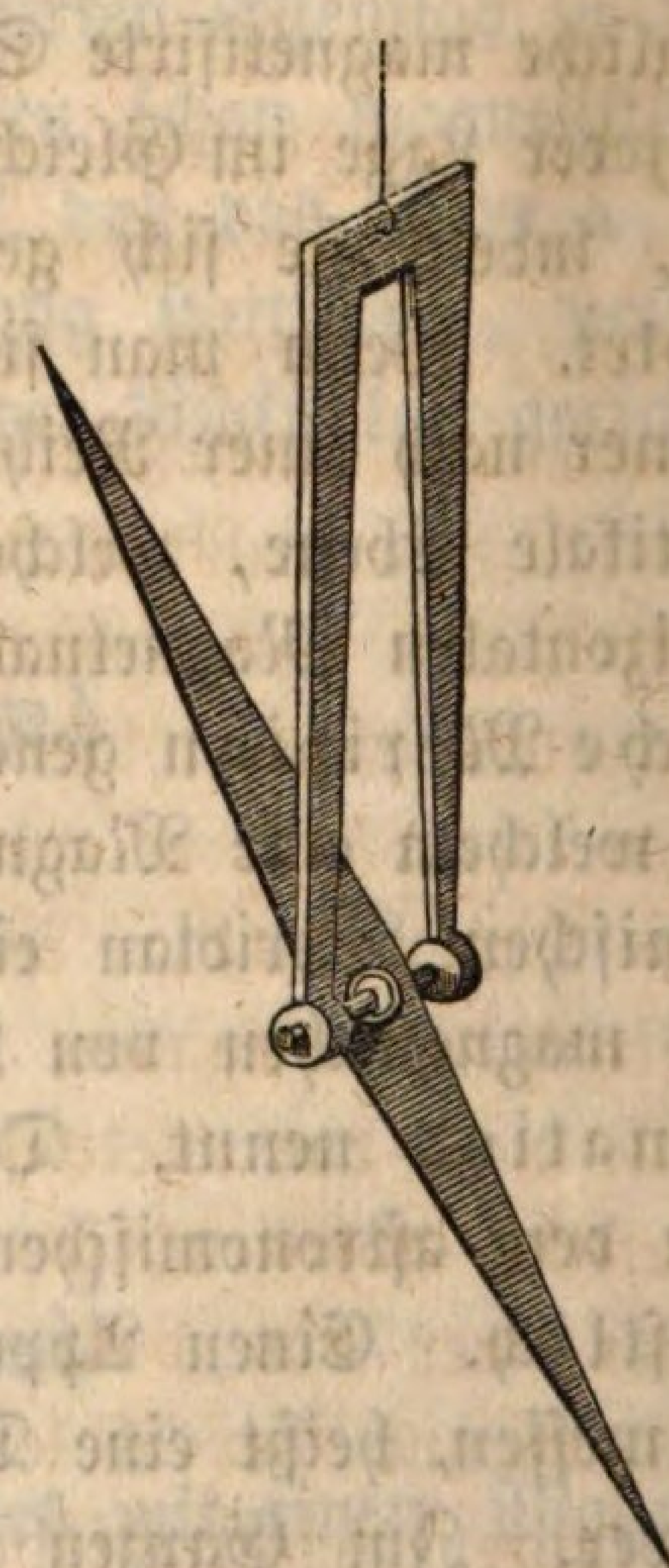
Das Ende a des Eisenstabes a b, welches mit einem Magnetstein in Berührung gewesen, zieht daher das Ende a′ eines zweiten magnetisirten Eisenstabes a′ b′, welches ebenfalls mit einem Mag-

netstein in Berührung gewesen, nicht an, sondern beide stoßen sich gegenseitig ab, — gegen beide geht der Hinschlag der Vibration ihrer Atome, beide Ende a und a' verhalten sich positiv elektrisch; hingegen zieht das mit dem Magnetstein in Berührung gewesene Ende a des Eisenstabes a b das mit dem Magnetstein nicht in Berührung gewesene Ende b' des Eisenstabes a' b' an, und ebenso stößt das mit dem Magnetstein nicht in Berührung gewesene Ende b des Eisenstabes a b das mit dem Magnetstein in Berührung gewesene Ende a' des Eisenstabes a' b' an, und stößt das andere Ende b' von sich ab. Von dieser Erfahrung ab hat man durch einen künstlichen Magnetstab eine Axe gezogen sich gedacht, und deren beide Ende Pole genannt. Zwei Ende von zwei künstlichen Magneten, die sich gegenseitig abstoßen, nannte man gleichnamige, — zwei Ende von zwei künstlichen Magneten, welche sich gegenseitig anziehen, nannte man ungleichnamige magnetische Pole.

Magnetnadel. Wir haben oben bemerkt, daß eine an einer Pendelschnur aufgehängte eiserne Kugel von einem Magnet, sey es ein natürlicher oder künstlicher, aus ihrer lothrechten Stellung heraus zu dem Magnete hingezogen wird. Eine an einem Seidenfaden horizontal aufgehängte oder auf einer feinen Spitze horizontal bewegliche magnetisirte Stahlnadel, Magnetnadel genannt, ist nicht in jeder Lage im Gleichgewichte, sie nimmt eine bestimmte Stellung ein, indem sie sich gegen einen bestimmten Punkt des Horizontes richtet. Wenn man sie aus dieser Lage herausbringt, so kehrt sie immer nach einer Reihe von Oscillationen in dieselbe zurück. Eine vertikale Ebene, welche man sich durch diese Richtungslinie der horizontalen Magnetnadel gelegt denken kann, wird der magnetische Meridian genannt. Der magnetische Meridian eines Ortes, an welchem eine Magnetnadel aufgestellt ist, macht mit dem astronomischen Meridian einen Winkel, welchen man die Abweichung des magnetischen von dem astronomischen Meridian oder die Declination nennt. Die Abweichung des magnetischen Meridians von dem astronomischen ist je nach dem Orte entweder östlich oder westlich. Einen Apparat, welcher dazu dient, diese Abweichung zu messen, heißt eine Declinationsbussole, Compaß der Seefahrer. Im Ganzen nähert sich die Richtung der Magnetnadel mehr der Richtung von Süd nach Nord, als von Ost nach West, daher man gewöhnlich sagt: die Magnetnadel zeigt nach Norden.



Sobald man aber eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkt selbst so aufhängt, daß sie sich nicht um einen Punkt horizontal drehen muß, sondern in vertikaler Stellung um den Drehungspunkt sich bewegen kann, so bleibt sie ebenfalls nicht mehr wagerecht stehen, sondern macht mit dem Horizonte einen Winkel, welchem man den Namen der Inclination gegeben hat. Ein Apparat, welcher dazu dient, die Inclination zu messen, wird Inclinationsbussole oder Inclinatorium genannt. Die Größe der Inclination ist nicht an jedem Orte der Erde dieselbe, sie nimmt im Allgemeinen zu, je mehr man nach Norden, — sie nimmt ab, je näher man dem Aequator der Erde kommt, und in der Aequatorialzone gelangt man an einen Ort, an welchem die Inclination gleich Null ist, die Inclinationsnadel also vollkommen wagerecht steht. Je weiter man aber wieder dem Südpol der Erde kommt, nimmt die Inclination der Magnetnadel wieder zu. Die Inclination in den Nordpolgegenden und jene in den Südpolgegenden unterscheidet sich aber in der Art von einander, daß diejenige Spitze der Magnetnadel, welche im Norden tiefer steht, als die



andere, in den Südpolargegenden höher sich stellt. Man nennt daher die Spitze der Magnetnadel, welche im Norden tiefer unter

dem Horizonte sich senkt, den Nordpol, und die Spitze, welche im Süden sich unter dem Horizonte senkt, den Südpol der Magnetnadel. Der Nordpolfahrer Kapitän Roß hat in den Nordpolargegenden den Ort entdeckt, an welchem die Inclinationsnadel sich senkrecht stellte, — man nennt diesen Ort den magnetischen Nordpol, — und es gibt demnach auch in den Südpolargegenden einen Ort, an dem die Nadel in umgekehrter Weise senkrecht sich stellt, man nennt diesen Punkt den magnetischen Südpol. Die um die Erde gehende Linie, welche die Orte verbindet, an denen man die Inclination gleich Null findet, nennt man den magnetischen Aequator.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen nimmt man gewöhnlich wie bei der Elektricität auch zwei magnetische Fluida an, von denen das eine in einem künstlichen Magnet von dem einen Ende a zu dem andern b, und das andere von dem Ende b zu dem Ende a strömt, — und ebenso ein magnetisches Fluidum, welches von dem Südpol der Erde gegen den Nordpol, und ein anderes Fluidum, welches von dem Nordpol der Erde dem Südpol derselben zu ströme. Die ungleichnamigen Pole ziehen sich an, die gleichnamigen stoßen sich ab, und so werde das gegen Norden hin sich richtende Ende der Magnetnadel von dem magnetischen Fluidum, welches von Norden nach Süden strömt, angezogen, und von dem magnetischen Fluidum, welches von Süden nach Norden strömen soll, abgestoßen. Deßgleichen werde das gegen Süden zeigende Ende der Magnetnadel von dem magnetischen Fluidum, welches von Süden nach Norden ströme, angezogen, und das andere Ende von dem nach Süden strömenden magnetischen Fluidum abgestoßen. — Unserer Ansicht über die Imponderabilien kann auch diese Erklärung nicht entsprechen. Wir haben oben gesehen, daß der Strom, welcher durch eine Reibungselektrisirmaschine erzeugt wird, in die Erde abgeleitet werden kann, — die Erde wird von den Physikern bei ihren Experimenten als Stromableiter benützt. Dieß gilt sowol für die sogenannte positive als negative Elektricität. Deßgleichen ist dieß der Fall, will man den elektrischen Strom einer galvanischen Säule oder Batterie ableiten, sey es der Strom, der von dem positiven, oder jener, der von dem negativen Polende abgeht. Wir suchen auch den Grund der Ableitung der leicht beweglichen Magnetnadel in der guten Leitungsfähigkeit der Erde für einen elektrischen Strom. Daß die um Einen Punkt horizontal bewegliche Magnetnadel in

der nördlichen Erdhalbkugel nach Norden, in der südlichen Erdhalbkugel nach Süden sich lenkt, mag uns einen Beweis dafür geben, daß die elektrische Strömung von dem Aequator weg dieß- und jenseits gegen die Pole der Erde hin ihren Zug hat. Ziehen wir noch in Betracht, daß die Abweichung sowol der Declinationsmagnetnadel als der Inclinationsbussole an ein und demselben Ort eine veränderliche ist, daß die Magnetnadel eine gewisse Reihe von Jahren mehr nach Westen, eine andere Reihe von Jahren nach Osten hin abweicht, und daß die Inclination in gewissen Jahren stärker als in andern Jahren ist, — ferners, daß eine tägliche Variation in der horizontalen Stellung der Magnetnadel obwaltet, und daß diese tägliche Variation in den Sommermonaten eine stärkere ist, als in den Wintermonaten, — endlich daß die Abweichung mit dem Sonnenaufgang in der nördlichen Erdhalbkugel eine westliche ist, welche bis gegen Nachmittag 5 Uhr ihr Maximum erreicht, von da an wieder nach Osten zurückgeht, und zur Nachtzeit eine fast stationäre ist, ebenso daß in der südlichen Erdhalbkugel dieselbe Abweichung nur im umgekehrten Sinne herrscht, nämlich daß das Südpolende der Magnetnadel nach Westen vorschreitet und Abends nach Osten rückwärts geht, — und daß die Größe der täglichen Variation abnimmt, je mehr man sich dem Aequator nähert, — so kann man sich nach diesen wenigen unläugbaren und constanten Erfahrungen nicht mehr der Vermuthung entschlagen, daß der Grund der Richtung der elektrischen Strömung, welche der beweglichen Magnetnadel ihre Richtung gibt, in der Einwirkung der Sonnenstrahlen auf die Atmosphäre der Erde und der Erdrinde liegt. Die von der Sonne aus-

Anmerkung. Folgende Tabellen mögen die Variationen in der Declination und Inclination der Magnetnadel ersichtlich machen:

Declination für Paris.

Jahr.	Declination.	Jahr.	Declination.
1580	11° 30′ östlich.	1814	22° 34′ westlich.
1618	8° „	1816	22° 25′ „
1663	0° „	1825	22° 22′ „
1700	8° 10′ westlich.	1828	22° 5′ „
1780	19° 55′ „	1832	22° 3′ „
1805	22° 5′ „	1835	22° 4′ „

gehende und zur Erde fortgepflanzte Bewegung, welche uns als Licht erscheint, verursacht als Stoßbewegung in den Atomen der Körper der Atmosphäre der Erde und der Erdrinde, die von den Sonnenstrahlen berührt werden, eine Zusammenziehung, welcher eine Ausdehnung der von den Sonnenstrahlen nicht berührten Nachbaratome nothwendig nachfolgt. Durch diese Ausdehnung der von den Sonnenstrahlen zuerst nicht berührten Atome (welche wie die Zusammenziehung der von der Sonne berührten Atome eine unterbrochene, intermittirende ist, gleichwie die Ursache der Atomenschwingungen, in welchen der Grund der Lichtstrahlen liegt, eine intermittirende seyn muß) wird den Nachbaratomen, welche nicht oder schwer zusammenziehungsfähig oder ausdehnungsfähig sind, eine intermittirende Stoßbewegung gegeben, welche eine Atomenvibration zur Folge hat, — und darin besteht ja, wie wir oftmals erwähnten, unserer Ansicht nach, eine elektrische Strömung. Wagen wir uns noch zu denken, daß, je weiter man nach den Polargegenden fortschreitet, die Sonnenstrahlen wegen ihrer größern Entfernung von der Bewegungsquelle der Sonne eine geringere Atomencon-

---

Inclination für Paris.

Jahr.	Inclination.	Jahr.	Inclination.
1671	75° .	1820	68° 20′
1780	71° 48′	1825	68° 0′
1806	69° 12′	1831	67° 40′
1814	68° 36′	1835	67° 24′

Die in vorstehenden Tabellen angeführten Veränderungen der Declination und Inclination nennt man seculare Variationen.

Amplitude der täglichen Variationen.

Die Mittelwerthe für die Amplitude, d. h. der Winkel zwischen dem östlichsten und westlichsten Stand der Magnetnadel in den verschiedenen Monaten sind nach Beobachtungen in Göttingen folgende:

Januar . . .	6,7′	Juli . . .	12,1′
Februar . .	7,4′	August . . .	13,0′
März . . .	11,9′	September . .	11,8′
April . . .	13,9′	Oktober . .	10,3′
Mai . . .	13,5′	November . .	6,9′
Juni . . .	12,5′	Dezember . .	5,0′

traction an der Erdoberfläche hervorzubringen im Stande sind, daß auch die secundäre Atomenausdehnung eine weniger bedeutende als näher dem Aequator ist, daß also in den Polargegenden eine stärkere Zusammenziehung der von der Sonne nicht berührten Atome der Erdrinde besteht, weil sie nicht secundär ausgedehnt werden — worauf schon die Menge Eises an den Polen hindeutet —, so finden wir in den mehr gegen die Pole hinzu gelegenen Orten auch eine größere in der Erdrinde liegende Atomenzusammenziehungsthätigkeit, und also einen hinreichenden Grund, in den Polargegenden den Pol der Anziehungs- und in den Aequatorialgegenden den Pol der Abstoßungselektricität, an den Polen eine größere Summe von negativer, in den Aequatorialgegenden eine überwiegende Summe von positiver Elektricität zu suchen. Man kann figürlich in den Aequatorialgegenden das Zink-, in den Polargegenden das Kupferende einer von dem Aequator bis zu den Polen reichenden galvanischen Batterie sich denken.

Das bei unserer Ansicht über den Erdmagnetismus entstehende Bedenken, daß die Magnetnadel mit ihrem sogenannten Nordpolende auch jenseits des Aequators nach Norden, und mit ihrem sogenannten Südpolende diesseits des Aequators immer nach Süden zeigt, möchte dadurch zu heben seyn, daß man annimmt: die magnetische oder elektrische Strömung einer von der südlichen Erdhalbkugel in die nördliche, und einer von der nördlichen Erdhalbkugel in die südliche gebrachten Magnetnadel werde während ihres Durchganges durch die Aequatorialgegenden eine indifferente, eine ausgeglichene, — die Atomenvibration in einer Magnetnadel, welche in der nördlichen Erdhälfte von ihrem nach Süden zeigenden Ende nach ihrem nach Norden zeigenden Ende gerichtet ist, also daß der Hinschlag der Atomenschwingung nach dem Nordpolende, der Rückschlag derselben nach dem Südpolende der Nadel gerichtet ist, gehe allmählig, kann man annehmen, am Aequator, von welchem aus die Ausdehnungselektricität diesseits und jenseits nach Nord und Süd, also nach zwei Richtungen geht, in den Zustand des Gleichgewichtes über, die beiden Enden der Magnetnadel werden, wie vorher statt von einer, am Aequator von zwei Anziehungselektricitätskräften, jener im Norden und jener im Süden angezogen; — in der südlichen oder nördlichen Erdhälfte verhält sich die Magnetnadel wie ein Stück Leitungsdraht, durch welches ein elektrischer Strom geht, dessen positiver Pol dem Aequator zu, dessen negativer

Pol dem Süd- oder Nordpol zu sich befindet. Am Aequator hingegen verhält sich die Magnetnadel wie eine Wage, an deren einem Arm die nördliche negative Elektricität, an dem andern Arm die südliche negative Elektricität gleich stark zieht. Je mehr nun eine Magnetnadel von dem Aequator weg entfernt wird, desto stärker zieht die dem Ort entsprechende polare negative Elektricitätskraft an dem einen Arm der Magnetnadel, — wird diese z. B. nach der südlichen Erdhälfte translocirt, so fängt allmählig die südpolare Anziehungselektricitätskraft an, das Südende der Nadel stärker anzuziehen, und die nordpolare fängt an, das Nordende gar nicht mehr anzuziehen, — und so umgekehrt, wird die Magnetnadel nach der nördlichen Erdhälfte translocirt, so wird das Nordende der Nadel stärker von der nordpolaren negativen Elektricität angezogen, das Südende von der südpolaren gar nicht mehr. In eine der polaren Erdhälften zurückgekehrt, befindet sich die Magnetnadel wieder, wie ein Stück Leitungsdraht zwischen zweierlei Polen eines elektrischen Stromes, dessen positive immer am Aequator, dessen negative immer dem entsprechenden Pol zu gesucht werden muß.

Wir haben bis jetzt der Richtung des die Stellung einer Magnetnadel bestimmenden elektrischen Stromes auf der Erdoberfläche nach der jedesmaligen Axenrichtung einer nur horizontal beweglichen Magnetnadel nachgeforscht. Die eigentliche Richtung der elektrischen Strömung auf der Erdoberfläche könnten wir nur aus der Richtung einer nicht an einem andern Körper befestigten Magnetnadel ersehen, — eine in der Luft schwebende und von dieser nur getragene Magnetnadel würde am meisten die wahre Richtung des elektrischen Stromes andeuten. Wir können aber die Einseitigkeit des Resultates über die Stromesrichtung aus den Stellungen einer nur horizontal beweglichen Magnetnadel durch die Resultate ergänzen und berichtigen, welche wir aus den Stellungen einer nur vertikal beweglichen Magnetnadel ziehen. Solche Magnetnadeln, die Inclinatorien nämlich, zeigen uns an, daß auf der nördlichen Erdhälfte das Nordende der Magnetnadel sich desto mehr unter dem Horizonte nach der Tiefe, dem Erdboden zu senkt, je näher man nach dem Nordpol zu kömmt, — und umgekehrt, daß auf der südlichen Erdhälfte das Südpolende der Magnetnadel desto mehr sich senkt, je mehr man vom Aequator weg dem Südpol zu sich nähert. In einem Ort der Nordpolargegenden hat Roß die Senkung der Magnetnadel (70° 5′ n. Br. und 263° 14′ östlich von Greenwich)

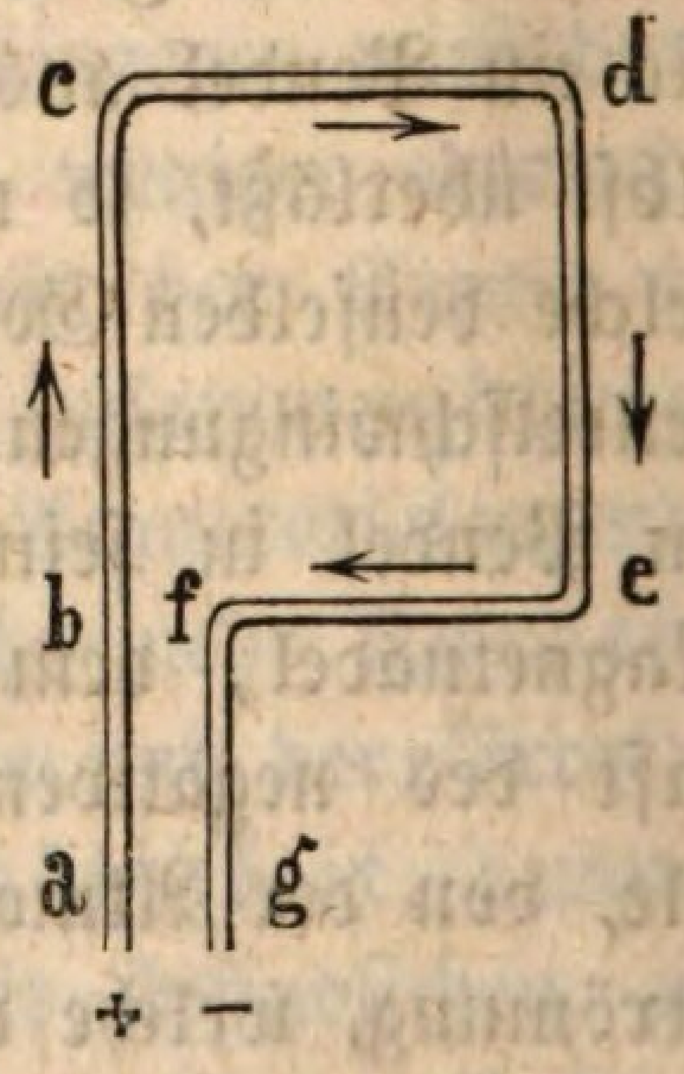
am bedeutendsten gefunden, so daß die Nadel senkrecht stand, und in den Aequatorialzonen kömmt man zu einem Punkte, wo die Inclination null ist, die Inclinationsnadel also wagerecht steht. Ein Gleiches läßt sich in der südlichen Erdhalbkugel finden. Hieraus läßt sich folgern, daß die anziehende Ursache, die Quelle der Anziehungs- oder negativen Elektricität in dem Erdboden sich befindet, und daß diese Ursache, die Größe der Anziehungselektricität in demselben Grade zunimmt, je weiter man nach den Polen kömmt. Wenn wir die Wirkung des Sonnenlichtes als eine Zusammenziehung in den von ihm berührten Atomen hervorbringenden Ursache, auf die Atome der Atmosphäre und die Oberfläche der Erde in Betracht ziehen, so muß die Summe der von dem Sonnenlichte zunächst berührten und zusammengezogenen Luftatome in den Aequatorialgegenden die größte, und in den gemäßigten Zonen eine größere seyn als in den Polargegenden. Demnach muß auch die Summe der secundär durch die Zusammenziehung der Luftatome in Ausdehnung gebrachten Atome der Erdoberfläche, der Erddünste eine größere seyn in der Nähe des Aequators, und eine geringe in der Nähe der Erdpole. Sowie nun in den Aequatorialgegenden die Luftatome mehr zur Zusammenziehung von dem Sonnenlichte gezwungen werden, an den Polen hingegen in ihrer eigenthümlichen Ausdehnung verharren können, — so werden durch erstere in den Aequatorialgegenden die Atome der Erdrinde mehr zur Ausdehnungsthätigkeit angeregt, in den Polargegenden hingegen wird durch die in ihrer Ausdehnung von dem Sonnenlichte weniger oder nicht gehemmten Luftatome die Ausdehnungsthätigkeit der Atome der Erdkörper unterdrückt, und werden diese zur Zusammenziehungsthätigkeit gedrängt. Es herrscht also in den Aequatorialgegenden in der untern Atmosphäre und der Erdoberfläche mehr Ausdehnungsthätigkeit, in der untersten Atmosphäre und der Erdrinde der Polargegenden mehr Zusammenziehungthätigkeit, demnach müssen die zwischen Aequator und einem Pole befindlichen und nicht oder nicht hinreichend sich zusammenziehenden oder ausdehnenden Atome in der von den sich ausdehnenden und zusammenziehenden Atomen erlittenen Stoß- und Zugbewegung, also in ihrer Schwingung oder Vibration eine Richtung erhalten, welche von dem Aequator nach den Polen zu geht, sie werden von der größern Ausdehnungsthätigkeit an dem Aequator weggestoßen, von der größern Anziehungsthätigkeit an den Polen zu diesen hingezogen.

Die Richtung der elektrischen Strömung in den Aequatorialgegenden muß eine mehr horizontale, in den gemäßigten Zonen eine schräge (diagonale) und in den Polargegenden mehr eine vertikale seyn. Auf der Erdoberfläche der Aequatorialgegenden bilden die durch die zusammengezogenen Luftatome ausgedehnten aus der Erdrinde hervorgezogenen Atome, die Erddünste, die Ausdehnungs- oder Abstoßungskraft, den positiven Pol, — auf der Erdoberfläche in den Polargegenden bilden die wegen unzureichender Einwirkung der Sonne nicht in Ausdehnung gebrachten, und durch die in Ausdehnung verharrenden Luftatome zur Contraction noch mehr gezwungenen Atome des Erdbodens die Contractions- und Anziehungskraft, den negativen Pol der elektrischen Strömung, welche der Magnetnadel ihre Richtung gibt.

Wir haben in der Pendellehre gesehen, daß ein und dasselbe Pendel in den Aequatorialgegenden in einem bestimmten Zeittheile weniger Schwingungen macht, als in den Polargegenden. Die Ursache der Beschleunigung der Pendelbewegung in den Polargegenden ist die größere Kraft, welche das Pendel bewegt, und diese ist größer an den Polen als am Aequator, weil das Pendel dort näher dem Erdmittelpunkt der Erde, also dem Anziehungsmittelpunkt der Schwerkraft ist, als am Aequator. Wenn man nun eine Magnetnadel, sey sie eine horizontal oder vertikal bewegliche, eine Declinations- oder Inclinationsnadel, aus ihrer ruhigen Stellung, so wie ein Pendel aus seiner Gleichgewichtslage bringt und dann sich selbst überläßt, so macht sie ebenfalls Schwingungen, Oscillationen, welche denselben Gesetzen unterworfen sind, als wie die gewöhnlichen Pendelschwingungen. Bei dem Pendel ist es die Schwerkraft, welche den Pendel in seine Gleichgewichtslage zu bringen sucht, bei der Magnetnadel, dem magnetischen Pendel, ist es die Anziehungskraft des negativen Poles der von dem Aequator gegen die Erdpole, von der Atmosphäre gegen den Erdboden gehenden elektrischen Strömung, welche die Magnetnadel in ihre Ruhelage zurückzukehren nöthigt. Wird daher ein und dieselbe Magnetnadel an verschiedenen Orten oder zu verschiedenen Zeiten an ein und demselben Ort aus ihrer Ruhestellung gewaltsam herausgebracht, so wird sie dort und dann in einem bestimmten Zeittheile mehr Schwingungen machen, wo und wann die Anziehungskraft des Erdbodens eine größere oder die elektrische Strömung eine stärkere ist, als an andern Orten und zu andern Zeiten, wo und wann sie geringer ist.

Es läßt sich also von der größern oder geringern Anzahl von Schwingungen einer Magnetnadel auf die größere oder geringere Intensität der Kraft schließen, von welcher die Richtung der Magnetnadel abhängt. Man nennt dieß die Intensität des Erdmagnetismus.

Verhalten zweier Körper zu einander, durch welche elektrische Ströme gehen. Aus den bisherigen Betrachtungen ergibt sich, daß die leicht bewegliche Magnetnadel von dem durch die Sonne vermittelten elektrischen Strom auf der Oberfläche der Erde, welcher auf der nördlichen Erdhälfte seit anderthalb Jahrhunderten von Süd-Süd-Ost nach Nord-Nord-West seine Richtung hat, ihre Richtung erhalte. Aus dieser von dem elektrischen Strom der Erdoberfläche ihr bestimmten Richtung kann die Magnetnadel aber durch zufällig ihr nahe kommende Körper, durch welche elektrische Ströme gehen, abgelenkt werden. Schon lange wußte man, daß kräftige elektrische Entladungen die Magnetnadel affiziren können. Aber erst Oersted, Professor in Kopenhagen, fand im Jahre 1820 das Mittel, einen elektrischen Strom und eine Magnetnadel in ein solches gegenseitiges Verhältniß zu bringen, daß man aus der verschiedenen Stellung der Magnetnadel zu einem Körper mit elektrischer Strömung oder aus der verschiedenen Richtung auf eine Magnetnadel die Gesetze der Ablenkung dieser letzteren erkennen konnte. Ein etwas starker Kupferdraht wird nämlich so gebogen, daß er ein Viereck bildet, dessen Seite etwa 8—10 Zoll lang seyn kann; die beiden Enden des Drahtes a b und f g werden in Näpfchen mit Quecksilber eingetaucht, in welchen je einen die Leitungsdrahtenden der zwei entgegengesetzten Pole einer galvanischen Batterie gesteckt werden können. Befindet sich das Drahtende des positiven Poles des elektrischen Stromes in dem Quecksilbernäpfchen, in welchem das



Drahtende a, und der negative Pol desselben elektrischen Stromes in dem Quecksilbernäpfchen, in welchem auch das Drahtende g steckt, so geht der elektrische Strom so durch das Kupferdrahtviereck, wie in obenstehender Figur die Pfeilrichtung andeutet; der elektrische Strom steigt nämlich in dem vertikalen Drahtstück b c auf, in dem horizontalen Drahtstück c d ist seine Richtung eine von c nach d gehende horizontale, und in dem vertikalen Drahtstücke d e geht er

abwärts von d nach e, — endlich in dem untern horizontalen Drahtstück ef geht er in der horizontalen Richtung von e nach f, welche aber der Richtung, die er im obern Drahtstücke cd hat, entgegengesetzt ist. Befestigt man nun das Kupferdrahtviereck so, daß die Ebene seines Viereckes in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, so sieht das eine Ende c des Drahtstückes cd nach Süd, das andere d nach Nord, — das Ende e des Drahtstückes fe nach Nord und das Drahtende f nach Süd. Hält man nun eine Magnetnadel gerade über das Drahtstück cd, so würde sie, wenn keine Einwirkung des durch den Draht gehenden elektrischen Stromes stattfände, mit dem Drahte cd parallel bleiben. Der von c nach d gehende elektrische Strom aber lenkt die Magnetnadel so von ihrer Richtung ab, daß ihr nach Norden gerichtetes Ende östlich vom magnetischen Meridian zu stehen kömmt. Hält man aber die Magnetnadel unter das Drahtstück cd, so wird das nach Norden gekehrte Ende der Nadel nach Westen abgelenkt. In Stellungen der Magnetnadel über und unter dem horizontalen Drahtstücke ef verhält sich die Ablenkung des Nordpolendes der Magnetnadel in umgekehrter Weise, — hält man die Nadel nämlich gerade über ef, so findet eine westliche, hält man sie gerade darunter, so findet eine östliche Ablenkung statt.

Anmerkung. Ampère gab, um jederzeit die Richtung der Ablenkung der Magnetnadel zu bestimmen, folgende Regel an: Man denke sich in den Draht eine kleine menschliche Figur so eingeschaltet, daß der positive Strom bei den Füßen ein und am Kopfe austritt; wenn nun die Figur ihr Gesicht der Nadel zukehrt, so ist der Nordpol der Nadel immer nach der linken Seite hin abgelenkt.

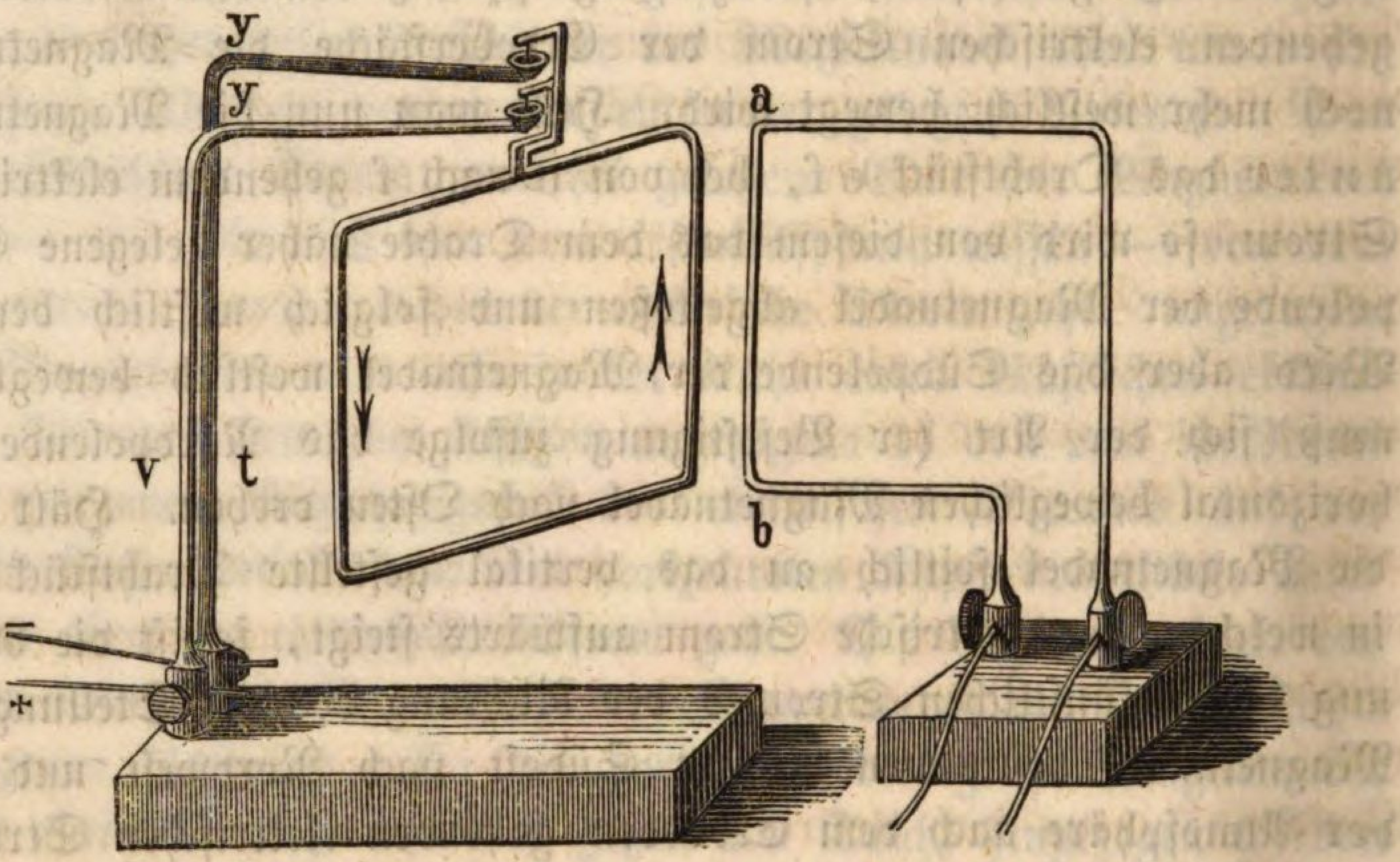
Um den Grund der bald östlichen bald westlichen Ablenkung des Nordpolendes einer horizontal beweglichen Magnetnadel je nach ihrer Stellung zu dem Körper mit dem elektrischen Strom richtig zu erforschen, hat man zu bedenken, daß das gegen Norden hin sich richtende Ende der horizontal beweglichen Magnetnadel auf der nördlichen Erdhälfte zugleich nach abwärts geneigt seyn würde, könnte sie sich ungehindert wie die Inclinationsnadel unterhalb den Horizonte senken. Soviel es aber der Stützpunkt, um den sich die Magnetnadel in horizontalen Richtungen herumdrehen kann, gestattet, besteht doch auf der Nordpolhälfte der Magnetnadel eine Senkung, auf der Südpolhälfte der Magnetnadel eine Hebung.

Kommt nun eine Magnetnadel gerade oberhalb eines im magnetischen Meridian liegenden und von einem elektrischen Strom durchströmten Drahtstückes c d zu stehen, so liegt das sich senkende Nordpolende der Magnetnadel näher dem Drahtstück c d, als das gehobene Südpolende derselben. Im Gegentheile ist, wird die Magnetnadel unter das horizontale Drahtstück gehalten, das sich senkende Nordpolende der Magnetnadel von dem durch das horizontale Drahtstück gehenden elektrischen Strom entfernter, und das gehobene Südpolende derselben näher gelegen. Der Einwirkung des durch das horizontale Drahtstück gehenden elektrischen Stromes ist aber das näher gelegene Polende der Magnetnadel eher und mehr ausgesetzt, als das von jenem entfernter gelegene Polende. Das dem elektrischen Strom zunächst gelegene Ende der Magnetnadel wird — wie wir dieß von den Eisenfeilspänen wissen — von dem Kupferdraht, durch welchen der elektrische Strom geht, angezogen. Die Magnetnadel wird also in der Nähe eines künstlichen elektrischen Stromes von zwei Kräften angezogen: 1) von dem im Nordwest gelegenen Anziehungspol des elektrischen Stromes auf der Erdoberfläche und 2) von dem horizontalen Kupferdrahtstück, durch welches eben ein elektrischer Strom geht. Die Anziehungskraft des letztern bringt das Nordpolende der Magnetnadel aus seiner Richtung gegen Nordwest. Da die horizontal bewegliche Magnetnadel weder abwärts noch aufwärts gegen den Draht hingezogen werden kann, so ist das Resultat der beiden Anziehungskräfte eine horizontal seitliche Bewegung der Magnetnadel. Hält man nun eine Magnetnadel über den horizontalen von dem elektrischen Strom von c nach d durchzogenen Kupferdraht, so wird das diesem nähere, möglichst gesenkte Nordpolende der Magnetnadel aus seiner nordwestlichen Richtung von dem Kupferdraht gezogen, — das Nordpolende wird daher eine östliche Ablenkung zeigen; hiedurch wird aber auch das Südpolende nach Westen verrückt. Hält man aber die Magnetnadel unter dem horizontalen Draht c d, so ist das gehobene Südpolende derselben dem Draht näher, als das gesenkte Nordpolende; es wird also das Südpolende von dem Drahte angezogen. Wird aber das Südpolende der in dem von Südost nach Nordwest gehenden elektrischen Strom der Erdoberfläche gehaltenen Magnetnadel aus seiner Richtung gezogen, also das äußerste Atom des Südpolendes östlich abgelenkt, so muß folgegemäß das Nordpolende der horizontal beweglichen Magnetnadel nach Westen sich drehen.

In den beiden Fällen ist die Richtung des elektrischen Stromes der Erdoberfläche und die Richtung des elektrischen Stromes im Kupferdrahtstück c d eine gleiche oder parallele. Hält man aber die Magnetnadel über oder unter dem horizontalen Drahtstück e f, so ist die Richtung des künstlichen elektrischen Stromes von e nach f der Richtung des elektrischen Stromes der Erdoberfläche gerade entgegengesetzt. Das näher gelegene Nordpolende der über dem Drahtstück e f gehaltenen Magnetnadel erleidet daher von dem Drahtstück e f keine Anziehung, sondern einen Stoß, eine Abstoßung. Die Folge dieser Nichtanziehung ist, daß von dem nordwestlich gehenden elektrischen Strom der Erdoberfläche die Magnetnadel noch mehr westlich bewegt wird. Hält man nun die Magnetnadel unter das Drahtstück e f, bei von e nach f gehendem elektrischen Strom, so wird von diesem das dem Drahte näher gelegene Südpolende der Magnetnadel abgestoßen und folglich westlich bewegt. Wird aber das Südpolende der Magnetnadel westlich bewegt, so muß sich der Art der Befestigung zufolge das Nordpolende der horizontal beweglichen Magnetnadel nach Osten drehen. Hält man die Magnetnadel seitlich an das vertikal gestellte Drahtstück b c, in welchem der elektrische Strom aufwärts steigt, so ist die Richtung dieses künstlichen Stromes der Richtung des die Stellung der Magnetnadel bestimmenden von Südost nach Nordwest und von der Atmosphäre nach dem Erdboden gehenden elektrischen Stromes entgegengesetzt. Das Nordpolende der Magnetnadel, wenn es dem Drahte näher ist als das Südpolende, wird daher von dem Draht b e abgestoßen. Hält man aber die Magnetnadel an das vertikale Drahtstück d e, in welchem der elektrische Strom von d nach e, also von oben nach unten abwärts geht, so convergirt die Richtung dieses künstlichen Stromes mit der Richtung des in der Diagonale von Südost nach Nordwest und von oben nach unten gehenden elektrischen Stromes auf der Erdoberfläche. Das Nordpolende der horizontal beweglichen Magnetnadel wird, wenn es dem Drahte d c näher ist als das Südpolende, von dem Drahte d c angezogen. Je nach der Stellung des Nordpolendes der Magnetnadel zu dem Drahte d c wird dasselbe nach Osten oder nach Westen abgelenkt.

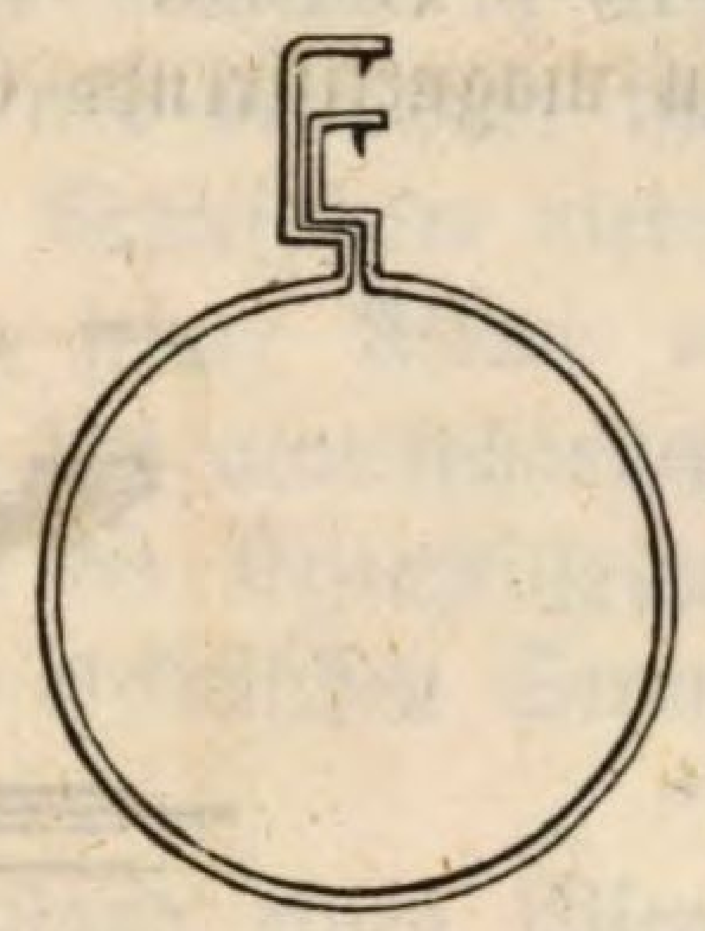
Gleichwie der eine Arm der Magnetnadel, durch welche der elektrische Strom auf der Erdoberfläche geht, von einem Draht, durch welchen ein künstlicher elektrischer Strom geht, von diesem angezogen wird, wenn der künstliche und der natürliche (terrestrische)

elektrische Strom mit einander nach Einer Richtung hingehen, d. h. wenn die Richtungen beider elektrischen Ströme in ihren Verlängerungen sich unter einem kleinern als rechten Winkel treffen, — aber von dem Drahte abgestoßen wird, wenn beide, der künstliche und natürliche elektrische Strom, in ihren Richtungen sich entgegengesetzt sind, d. i. wenn die Verlängerung ihrer Richtungen sich in einem größern als rechten Winkel treffen würden, — ebenso wird ein beweglicher, mit seinen Enden y y in mit Quecksilber gefüllten Näpfchen ruhender und darauf beweglicher Draht, durch welchen



man die Strömung einer galvanischen Batterie gehen lassen kann, von einem andern feststehenden Draht a b, durch welchen ebenfalls ein elektrischer Strom geleitet werden kann, angezogen, wenn beide galvanisch elektrischen Ströme nach Einer Richtung hin gehen oder mit einander parallel sind, — hingegen abgestoßen, wenn die Richtungen der beiden elektrischen Ströme sich in einem größern als rechten Winkel treffen würden. Sowie die bewegliche Magnetnadel von einem Draht, der von einem elektrischen Strom durchzogen wird, durch Anziehung oder Abstoßung von diesem in ihrer Richtung abgelenkt wird, ebenso kann auch ein beweglicher Draht, durch welchen ein elektrischer Strom geht, von der elektrischen Kraft, welche der Magnetnadel ihre Richtung von Südost nach Nordwest gibt, in Bewegung versetzt und zu einer bestimmten Richtung genöthigt werden. Da es nicht möglich ist, durch einen geraden Draht einen elektrischen Strom gehen zu lassen, daß jener zugleich

nach allen Richtungen hin sich bewegen läßt, so muß sich das Experiment auf einen gebogenen oder runden Draht, dessen beide Enden vertikal über einander, als um einen Drehpunkt im Quecksilbernäpfchen ruhen, beschränken. Man hat es hier aber mit einem System von Kräften zu thun, welche mit der Richtung des elektrischen Stromes der Erdoberfläche theils übereinstimmen, theils ihr entgegengesetzt sind. Sowol in einem Drahtviereck (wie in der vorigen Figur), als in einem Drahtringe (wie in nebenstehender Figur) sind die elektrischen Ströme in dem Drahtgebilde zur Hälfte ebenso gegen den elektrischen Strom der Erdoberfläche abstoßend, wie zur Hälfte nicht abstoßend sich verhaltend. Die Resultante sämmtlicher Kräfte ist die Ruhestellung des beweglichen Drahtgebildes, während ein elektrischer Strom durch dieses geht, die Stellung in einem rechten Winkel mit der Richtung

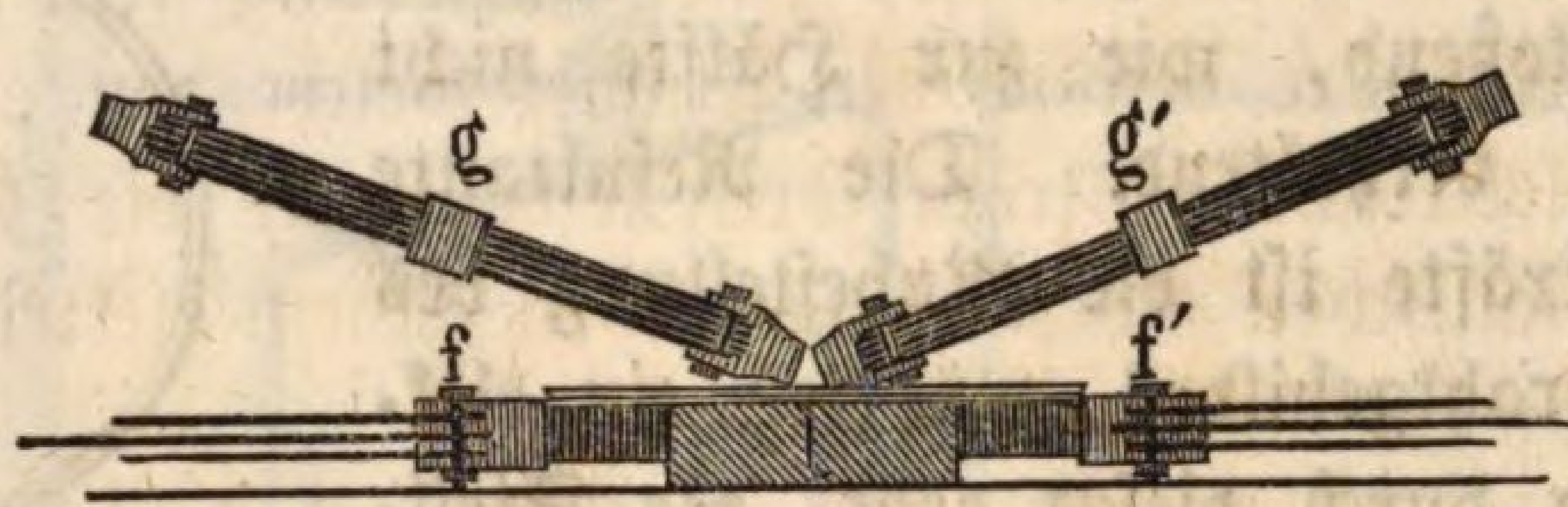


des elektrischen Stromes der Erdoberfläche von Südost nach Nordwest, d. i. die Ebene, in welche das Drahtgebilde gestellt wird, macht mit der Ebene des magnetischen Meridians einen rechten Winkel. Bei der Bewegung des Drahtgebildes in diese Ruhestellung macht die dem Nordwest zusehende Seite desselben eine westliche Wendung, wenn der elektrische Strom in dem eben nordwestlich stehenden Drahtstück aufwärts steigt, eine östliche Wendung, wenn er in demselben abwärts geht. Der abwärts gehende Strom läßt zu, daß das entsprechende Drahtstück der Richtung des elektrischen Stromes der Erdoberfläche folgt, — und der aufsteigende Strom, daß es abgestoßen oder zurückgehalten wird. Das Drahtstück mit dem absteigenden Strom tritt vor, d. h. geht mit dem nach Nordwest gehenden elektrischen Strom der Erdoberfläche, — das Drahtstück mit dem aufsteigenden Strom tritt zurück. Während jenes nach Osten sich dreht, dreht sich dieses nach Westen.

Gleichwie die leicht bewegliche Magnetnadel von einem feststehenden Draht, durch den der elektrische Strom einer galvanischen Batterie geht, und sowie ein leicht beweglicher Draht, durch den ein elektrischer Strom geht, von dem elektrischen Strom der Erdoberfläche, der die Stellung der Magnetnadel bestimmt, angezogen oder abgestoßen wird, ebenso wird auch ein leicht beweglicher Magnetstab von einem feststehenden Draht, durch den ein Strom einer

galvanischen Batterie geht, durch Anziehen oder Abstoßen bewegt, — und gleichfalls ein leicht beweglicher Draht, durch den ein elektrischer Strom geht, von einem feststehenden Magnetstab in Bewegung versetzt.

Magnetisirung des Eisens durch elektrische Ströme. Metallisches Eisen wird gewöhnlich durch Berührung und Bestreichung mittels eines natürlichen oder künstlichen Magnetes in den magnetischen Zustand versetzt, magnetisirt. Hiebei wird gewöhnlich der zu magnetisirende Eisenstab oder die Stahlnadel zwischen zwei un-



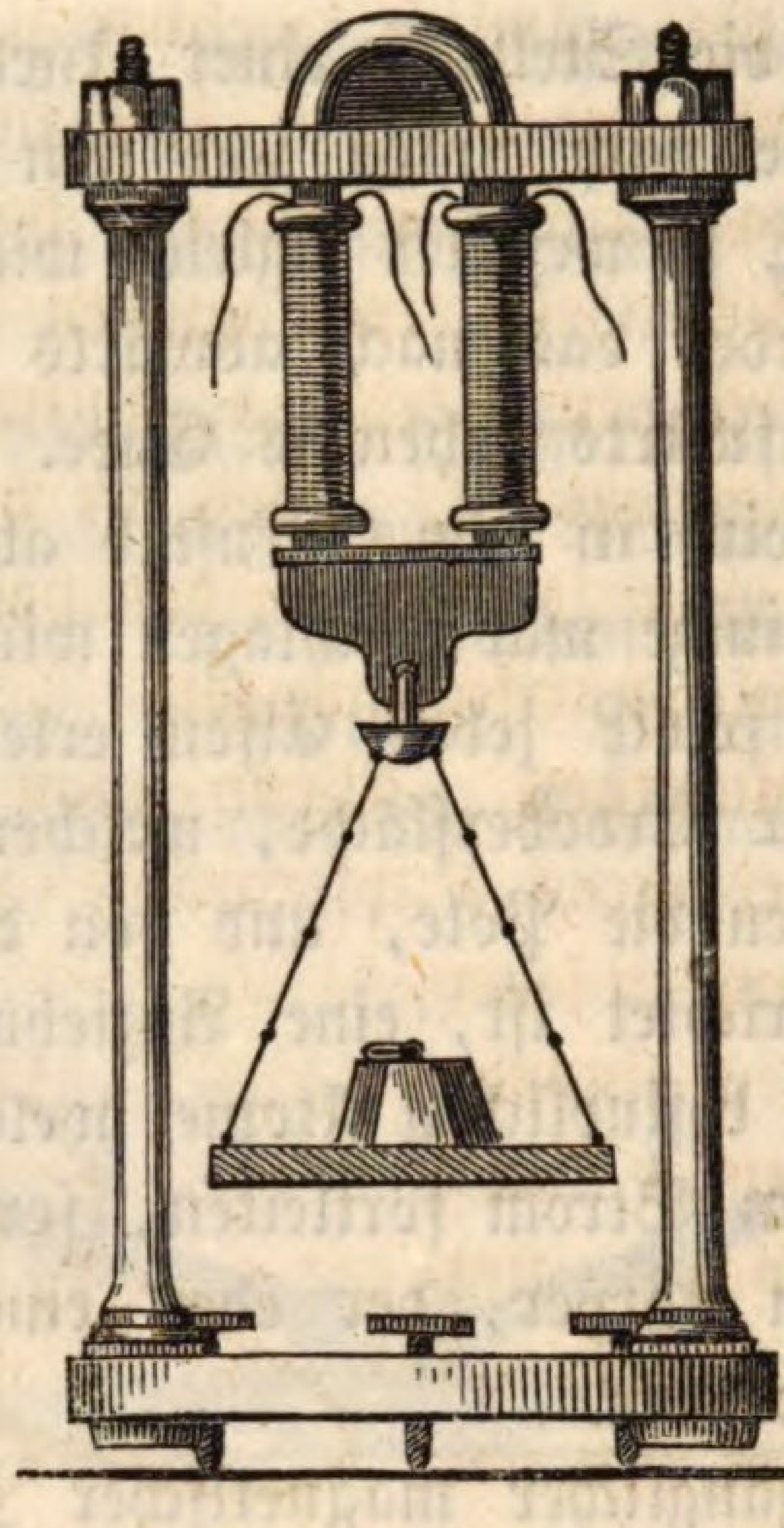
gleichnamige Pole zweier Bündel mehrerer Magnetstäbe f und f' befestigt, und alsdann mit zwei andern mit ungleichnamigen Polen in einem Winkel von 25 bis 30 Grad gehaltenen Magnetstabbündeln entweder von der Mitte aus gegen beide entgegengesetzte Enden oder der ganzen Länge auf und ab mehrmals gestrichen. Nach mehrmals wiederholtem Streichen ist die Masse des Eisenstabes in Atomenschwingung versetzt, deren Richtung von dem einen Ende des Stabes zu dem andern Ende desselben geht, und hat nun die Anziehungskraft eines Magnetes erlangt. Die Richtung der Atomenschwingungen wird hiebei vorzüglich durch die Abstoßungskraft des einen Nordpoles des Magneten f und durch die Anziehungskraft des andern Südpoles des andern Magneten f' bewirkt und erhalten.

Wenn man einen Eisenstab mit seiner Längenaxe in der Richtung der Inclinationsnadel längere Zeit hält oder aufhängt, so wird der Eisenstab magnetisirt. In schwächerem Grade ist die Magnetisirung, wenn der Eisenstab nicht ganz genau in der Richtung der Inclinationsnadel, z. B. in unserer Gegend vertikal gehalten wird. Der einige Zeit in der Stellung der Inclinationsnadel verweilende Eisenstab zeigt aber seine Südpolarität an dem Ende, welches nach unten gestanden, und seine Nordpolarität an dem Ende, welches nach oben gestanden. Hält man nun denselben

Eisenstab verkehrt in die Stellung einer Inclinationsnadel, so daß sein nordpolares Ende nach unten und sein südpolares Ende nach oben zu stehen kommt, so wechselt sogleich wieder seine Polarität, — südpolarisch wird wieder das nach abwärts sehende Ende, nordpolarisch sein nach aufwärts sehendes Ende. Der wechselnde und vergängliche Strom wird in dem Eisenstab aber fixirt, wenn dieser mit einem Hammer einige mal geschlagen wird.

Der Eisenstab, sowie jedes Eisen erleidet nämlich in dem elektrischen Strom der Erdoberfläche, welcher, wie erwähnt, von dem Aequator ab gegen die Pole, und von der Atmosphäre nieder zu dem Erdboden gerichtet ist, eine Anziehung seiner Atome an die in der Atmosphäre befindlichen Atome, welche den atmosphärisch-terrestrischen elektrischen Strom fortleiten, sowie die Eisenfeilspäne von einem metallischen Körper, der eben einen elektrischen Strom fortleitet, angezogen werden.

Ein solcher vergänglicher magnetischer Zustand eines Eisenstückes wird, und zwar in größerem Maaße der Kraftstärke dadurch erzeugt, daß man das Eisen in die Nähe eines Körpers bringt, durch welchen eben ein elektrischer Strom geleitet wird. Dieß wird am besten dadurch bewerkstelligt, daß man einen mit Seide oder Wolle übersponnenen Leitungsdraht spiralförmig um das Eisenstück herumführt oder das Eisenstück in eine Spule von Holz steckt, um welche der Leitungsdraht auf die eben erwähnte Weise gewunden ist. Je länger der Draht ist, durch den der Strom geht, desto stärker ist die Wirkung an dem Eisen, eine desto größere magnetische Anziehungskraft besitzt das Eisen, so lange es unter dem Einfluße des Drahtes, der den elektrischen Strom leitet, sich befindet. Für sehr kräftige Wirkungen werden daher Magnetisirungsspiralen angewandt, welche aus 800 bis 1000 Windungen eines $\frac{1}{2}$ bis 1 Linie dicken Kupferdrahtes bestehen, die in mehreren Lagen über einander liegen können. Während der Dauer des elektrischen Stromes durch den Leitungsdraht besitzt das Eisenstück die Kraft, metallisches Eisen anzuziehen und zu tragen, in hohem Grade, und es heißen solche durch die Einwirkung eines künstlichen elektrischen Stromes magnetisirte Eisenstücke Elektromagnete, und die Anziehungskraft, welche durch sie ausgeübt wird, der Elektromagnetismus. Wie den gewöhnlichen Magneten wird auch den Elektromagneten eine hufeisen- oder Uförmige Gestalt gegeben, wie nachfolgende Figur zeigt. Auf die geradlinigen Schenkel von solchen finden sich die Magneti-

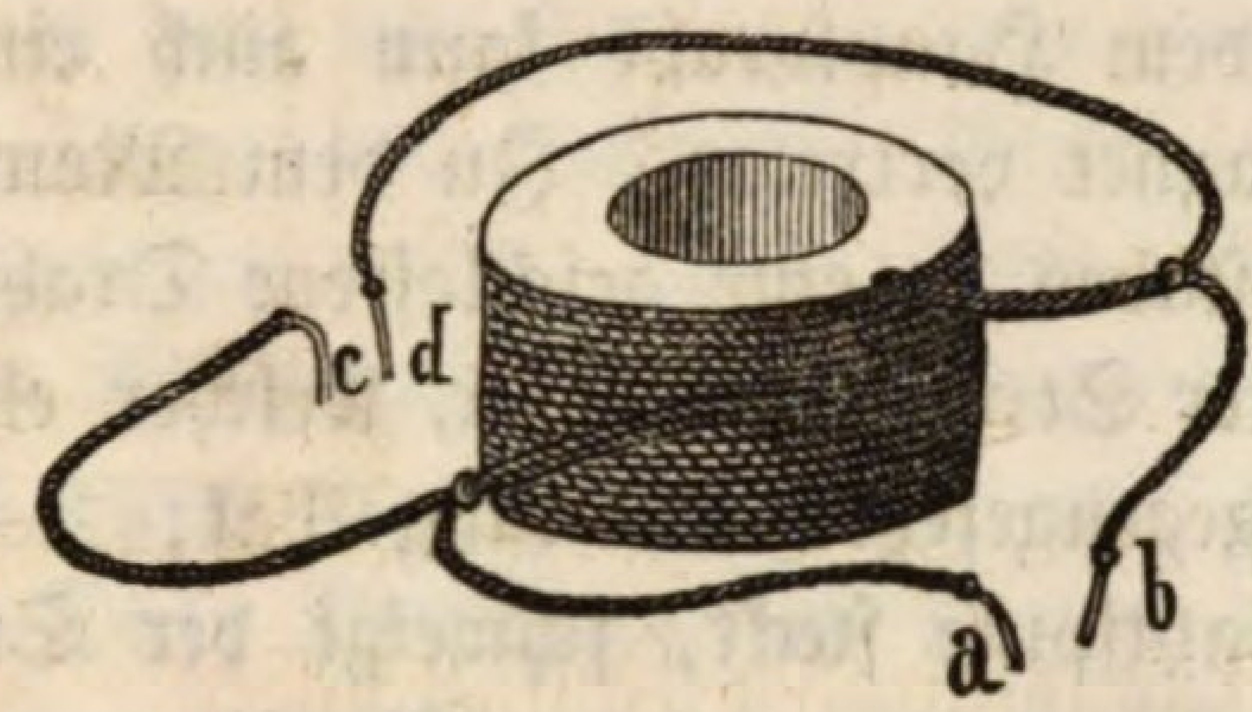


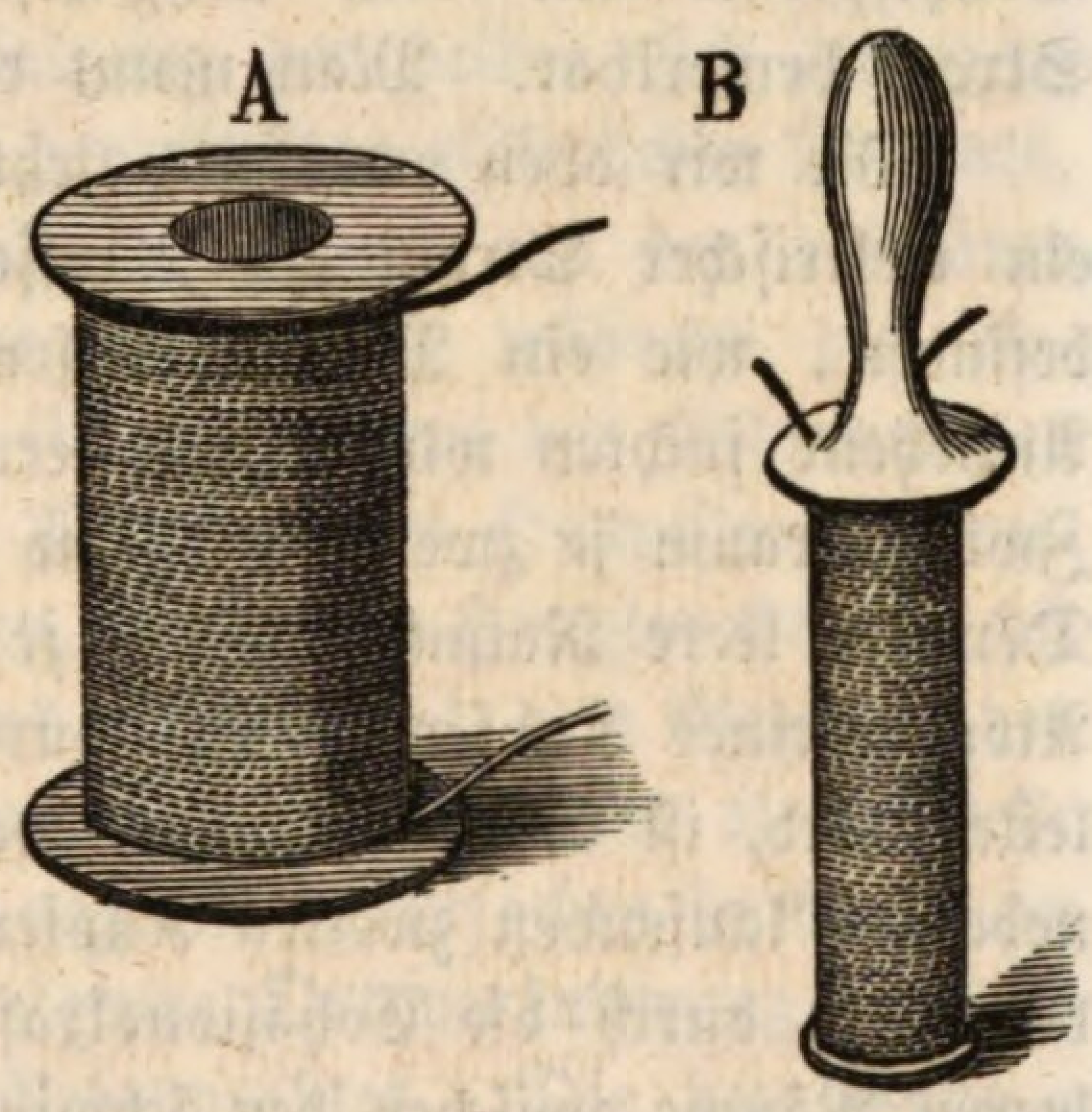
sirungsspiralen aufgeschoben. Ein solcher Elektromagnet von 1 Centimeter Durchmesser erlangt eine Tragkraft von 20 Pfund, wenn auf jeden Schenkel des Hufeisens eine Spirale von ungefähr 250 Windungen aufgeschoben ist. Durch Vergrößerung der Dimensionen kann ein Elektromagnet die Anziehungskraft gewinnen, um eine Eisenlast von 2000 Pfund zu tragen.

Die Polarität der künstlichen Elektromagneten verhält sich ebenso wie die der natürlichen Elektromagneten, welchen Namen, unserer Ansicht nach, solche Eisenstäbe führen könnten, welche durch ein längeres Verweilen, Gehaltenwerden, in dem elektrischen Strom der Erdoberfläche magnetisirt werden. Sowie nämlich bei diesem dasjenige Ende die südpolare Beschaffenheit erlangt, welches nach unten und Norden, also den Anziehungsstellen zu steht, und dasjenige Ende, welches nach oben und dem Aequator, also den Abstoßungsorten zu gerichtet ist, die nordpolare Beschaffenheit erlangt, — ebenso wird auch das dem Abstoßungs- oder positiven Pol des elektrischen Stromes entgegengesetzte Ende das südpolare, und das dem Anziehungs- oder negativen Pole des elektrischen Stromes entgegengesetzten Ende das nordpolare bei einem künstlichen Elektromagneten. Zur einestheils bequemeren Anschaulichkeit sagt man auch, daß dasjenige Ende, welches, dem Beschauer zugewendet, vom positiven Pole des elektrischen Stromes in den spiralen Drahtwindungen in der Richtung umkreiset erscheint, in welcher sich ein Zeiger einer Uhr dreht, der

Südpol ist, derjenige Pol nämlich, welcher sich nach Süden richten würde, wenn der Elektromagnet sich frei in der Horizontalebene drehen könnte. Die magnetische Strömung hat also in den (natürlichen sowol als künstlichen) Elektromagneten eine Richtung, welche der Richtung des elektrischen Stromes, mittels dessen sie magnetisirt werden, entgegengesetzt ist. Was ist hievon der Grund? — Diesen zu erforschen, wird leichter bei den von Faraday entdeckten und sogenannten Induktionserscheinungen.

Induktionserscheinungen. Wenn man auf einer Holzspule zwei mit Seide überzogene Kupferdrähte so aufwickelt, wie in nebenstehender Abbildung zu sehen, daß beide Drähte neben einander laufen und von einander durch den Seidenüberzug isolirt sind, oder wenn zwei mit Draht umwundene Holzspulen in einander geschoben werden, und wenn man alsdann die beiden Enden des einen Hauptdrahtes a und b mit den Polen einer galvanischen Batterie in Verbindung bringt, so kreiset in dem andern, dem Nebendraht, wenn seine Enden c und d einander genähert werden, ein elektrischer Strom, welcher demjenigen, der ihn inducirt, dem im Hauptdraht circulirenden in seiner Richtung entgegengesetzt ist. Wenn nämlich das Ende a des Hauptdrahtes mit dem positiven Elektropol der galvanischen Batterie, und b mit dem negativen Elektropol verbunden ist, so reagirt das dem Ende a des Hauptdrahtes entsprechende Ende c des Nebendrahtes negativ elektrisch, und das dem Ende b des Hauptdrahtes entsprechende Ende d des Nebendrahtes positiv elektrisch. Dieser inducirte elektrische Strom des Nebendrahtes ist jedoch nicht andauernd, sondern nur momentan bei dem Beginn des primären elektrischen Stromes im Hauptdrahte bemerkbar, nicht aber so lange der primäre Strom in gleichmäßiger Stärke den





Hauptdraht durchläuft, und macht sich wieder bemerkbar, sobald der primäre elektrische Strom im Hauptdrahte aufhört. Dieser zweite in dem Momente des Aufhörens des primären, inducirenden Stromes erscheinende secundäre inducirte Strom hat aber die dem ersten inducirten Strom entgegengesetzte und dem primären inducirenden Strom des Hauptdrahtes gleiche Richtung. Ein galvanischer Strom inducirt also in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen Strom von entgegengesetzter Richtung im Momente seines Entstehens, und einen gleich gerichteten im Momente seines Aufhörens.

Die Stelle des inducirenden galvanisch-elektrischen Stromes in dem Hauptdraht kann auch ein gewöhnlicher oder ein Elektro-Magnet vertreten. In dem Momente der Einführung eines Magnetstabes in eine geschlossene Drahtspirale ist in letzterem ein inducirter Strom bemerkbar, welcher eine dem im Magneten strömenden entgegengesetzte Richtung hat; — so lange der Magnet in der Drahtspule steckt, schweigt der Strom im geschlossenen Draht, — im Momente nach der Ausführung des Magneten ist wieder in der Drahtspirale ein dem Magnetstrom gleich gerichteter inducirter Strom bemerkbar. Man nennt dieses die Magneto-Induktion.

Wie wir oben erwähnt, zieht ein Metallkörper, durch welchen ein elektrischer Strom geht, dessen Atome also in Vibration sich befinden, wie ein Magnet Eisenfeilspäne an. Die Ursache des Anziehens suchten wir in dem leeren Raum, der momentan in dem Zwischenraum je zweier hin und her schwingender Atome entsteht. Derselbe leere Raum zwischen je zwei hin und her schwingenden Atomen eines Kupferdrahtes, durch den ein elektrischer Strom geleitet wird, ist auch der Grund von Anziehung für die Atome eines nebenher laufenden zweiten Kupferdrahtes. Die Atome dieses werden aber durch die Cohäsionskraft des Drahtes gehindert, in die leeren Räume zwischen den schwingenden Atomen des Hauptdrahtes einzutreten, d. i. sie können sich an den Hauptdraht nicht anhängen. Nichtsdestoweniger aber stehen die Atome des Nebendrahtes unter dem Einfluß der Anziehungskraft des Hauptdrahtes, die diesem die leeren Räume zwischen je zweien seiner hin und her schwingenden Atome verleihen. Es findet eine theilweise Anziehung der Atome des Nebendrahtes statt, eine Annäherung an die leeren Räume im Hauptdraht. Der Nebendraht befindet sich in Folge des Angezogenseyns seiner Atome in Spannung. Hört nun die Ursache der

Anziehung, der elektrische Strom durch den Hauptdraht auf, so wird auch die durch jenen bedungene Spannung des Nebendrahtes aufgehoben, die Atome des Nebendrahtes gehen aus ihrer Annäherung an die nicht mehr vorhandenen Zwischenräume je zweier Atome des Hauptdrahtes zurück, und zwar ebenso weit zurück über ihre vor dem Daseyn des elektrischen Stromes inne gehabte Stellung, als sie kurz vorher an die leeren Zwischenräume sich angenähert hatten. Während der ununterbrochenen Andauer des elektrischen Stromes im Hauptdrahte aber verharren die Atome des Nebendrahtes an ihren den leeren Räumen zwischen den schwingenden Atomen des Hauptdrahtes angenäherten Stellen, d. h. der Nebendraht verharrt in der Spannung in dem von Faraday sogenannten elektrotonischen Zustande, so lange der elektrische Strom im Hauptdrahte ununterbrochen fortgeleitet wird. Eine Lokomotion, eine Bewegung findet also in dem Nebendrahte nur bei dem Beginne eines elektrischen Stromes durch den Hauptdraht, und bei dem Aufhören desselben statt. Diese Bewegung der Atome des Nebendrahtes bei dem Beginne und unmittelbar nach dem Aufhören der elektrischen Atomenvibration im Hauptdrahte ist nun der Grund eines zweiten in Folge der Vereinigung der beiden sich entgegengesetzten Ende des Nebendrahtes d hergestellten elektrischen Stromes, eines Nebenstromes im Nebendraht in Bezug auf den primären oder Hauptstrom in dem Hauptdrahte. Denn während des Beginnes des Hauptstromes nähern sich die Atome des Nebendrahtes dem Hauptdrahte, und nach dem Aufhören des Hauptstromes entfernen sie sich wieder von demselben, — die dem Hauptdraht zunächst gelegenen Atome des Nebendrahtes werden bei dem Beginne des elektrischen Stromes zuerst angezogen, und sie von ihrer alten Stelle rückend und dem Hauptdrahte sich nähernd verursachen in den ihnen anliegenden Nachbaratomen eine folgende Ortsveränderung, und so fort in den übrigen Atomen des Nebendrahtes. Die dem Ende a des Hauptdrahtes, durch welches der galvanische Strom eingeht, also dem positiven Pole näher gelegenen Atome des Nebendrahtes erleiden von dem Hauptdrahte zuerst eine Anziehung. Die Annäherung sämmtlicher Atome des Nebendrahtes ist also eine an dem mit dem Ende a des Hauptdrahtes verbundenen Theil c des Nebendrahtes beginnende, und die stete Nachfolge der Atomenortsveränderung in dem Nebendrahte findet von dem mit dem andern Ende b des Hauptdrahtes verbundenen Theil d des Nebendrahtes

statt. Die Anziehungspunkte sind den Atomen des Nebendrahtes stets in der Richtung gegen den Theil des Hauptdrahtes zu gelegen, welcher zuerst von dem elektrischen Strom berührt wird, also zunächst dem Theil, in den der elektrische Strom hineingeht, dem Theil, welcher dem positiven Elektropole der galvanischen Batterie näher ist. Werden nun die beiden Enden des Nebendrahtes c und d mit einander in Berührung gebracht, so wird sich beim Beginne des elektrischen Stromes des Hauptdrahtes eine von dem Ende d des Nebendrahtes zu dem Ende c gerichtete Atomenbewegung kundgeben, der momentane Strom in dem Nebendraht also eine dem elektrischen Strom im Hauptdraht entgegengesetzte Richtung haben. Bei dem Aufhören des elektrischen Stromes in dem Hauptdrahte aber und der unmittelbar darauf erfolgenden Befreiung der Atome des Nebendrahtes aus ihrer Spannung, mit der sie an die Atomenzwischenräume des Hauptdrahtes gefesselt waren, muß eine der ersteren entgegengesetzte Richtung in der Bewegung der zurückgehenden Atome des Nebendrahtes sich kundgeben, also der zweite Strom in dem Nebendrahte unmittelbar nach dem Aufhören des elektrischen Stromes in dem Hauptdrahte eine diesem parallele Richtung zeigen.

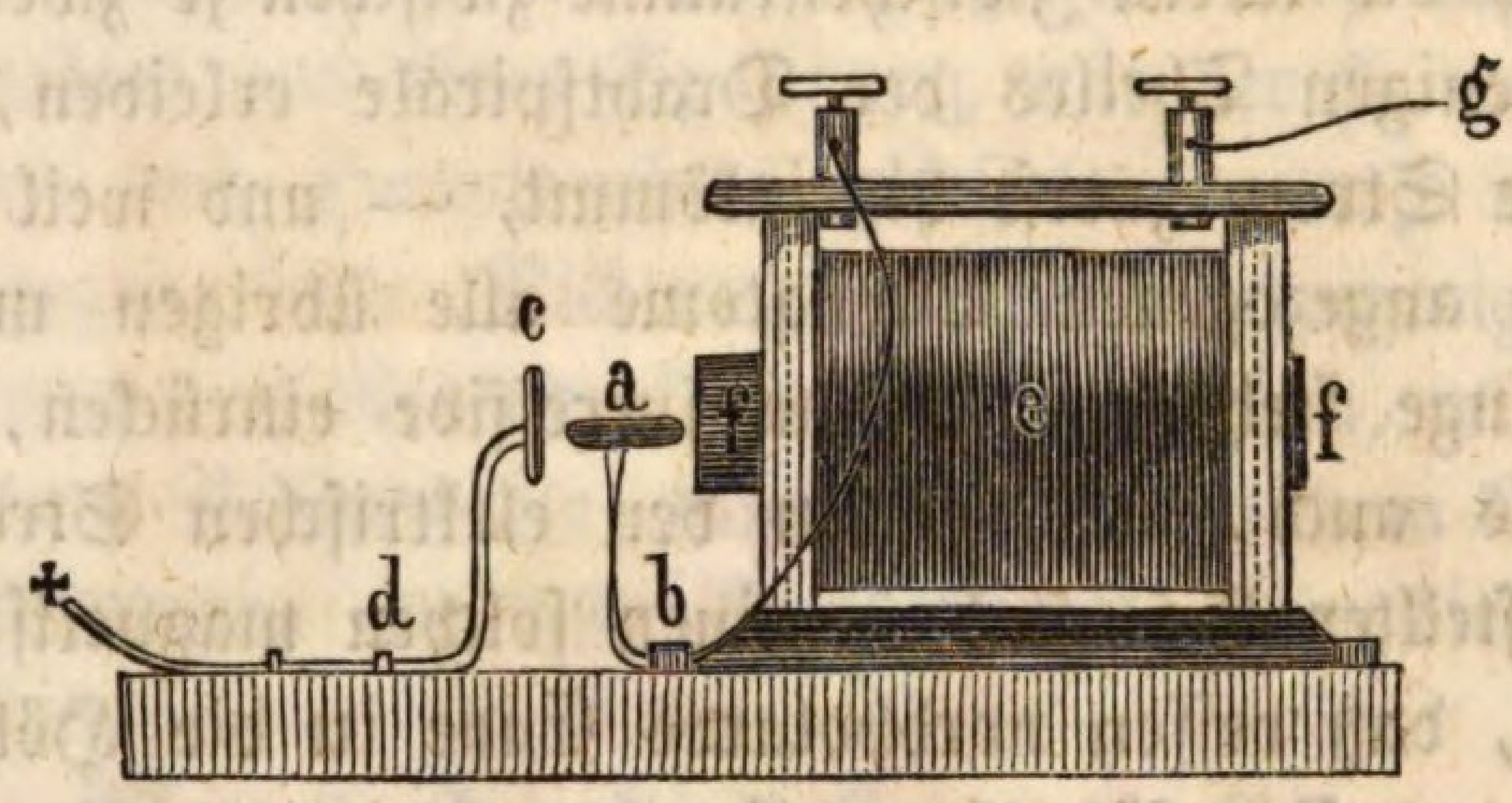
Bei der Magneto-Induktion findet die Atomenanziehung des Drahtes an der Stelle und gegen die Stelle hin statt, welche zuerst und zunächst in den Kreis der Anziehungskraft des Nordpolendes des Magneten gekommen ist. Während des Verweilens des Magneten in der Drahtspule verharren die Atome des Drahtes in der Spannung des Angezogenseyns von dem Magneten, — und bei Entfernung dieses tritt die Befreiung von der Anziehungskraft des Magneten, ein Rücktritt der Atome in ihre alte Lage ein.

Es ist nun auch leicht einzusehen, warum ein Elektromagnet, während er unter der Herrschaft eines elektrischen Stromes steht, eine der Richtung des elektrischen Stromes entgegengesetzte Atomenbewegung zeigen muß, — der Punkt der Anziehung ist für die Eisenatome immer die Eintrittsstelle der elektrischen Strömung der Drahtspirale, der Anziehungspunkt für die Atome des Elektromagneten ist immer der dem Abstoßungspole oder dem positiven Elektropole näher gelegene Theil der Drahtspirale. Da die magnetische Beschaffenheit in der Spannung der nach einer Richtung hin angezogenen Atome des Eisens besteht, so ist auch klar, daß die Anziehungskraft für Eisen in einem Elektromagnet mit dem Beginne

des elektrischen Stromes in der Magnetisirungsspirale anfängt, während desselben fortdauert und mit dem Aufhören desselben endet; — im Gegensatze zu dem Elektro- und Magneto-Induktionsstrom des kupfernen Nebendrahtes, der nur bei dem Beginn des elektrischen Stromes in dem Hauptdraht und unmittelbar nach dem Aufhören desselben zum Vorschein kömmt, während der Dauer des ununterbrochenen Fortbestehens des elektrischen oder magnetischen Stromes aber schweigt.

Derselbe Grund dafür, daß die Polarität eines künstlichen Elektromagneten entgegengesetzt ist der Elektropolarität des galvanischen Stromes in der Magnetisirungsspirale, nämlich weil die Atome des innerhalb der Spirale befindlichen Eisens die erste Anziehung durch die leeren Zwischenräume zwischen je zwei vibrirenden Atomen desjenigen Theiles der Drahtspirale erleiden, in welchen der elektrische Strom zuerst hineinkömmt, — und weil in die Stellen der erst angezogenen Eisenatome alle übrigen mit ihnen im Zusammenhange stehenden Atome successive einrücken, — derselbe Grund ist es auch, daß ein in den elektrischen Strom der Erdoberfläche gestellter Eisenstab in einen solchen magnetischen Zustand versetzt wird, daß dessen nordpolares Ende in die Höhe und dem Aequator, und dessen südpolares Ende nach unten und dem Erdpole zugewendet ist. Der in der Luft in der Position der Inclinationsnadel gestellte Eisenstab wird von dem von Südost nach Nordwest und von oben nach unten gehenden elektrischen Strom der Erdoberfläche an seinem nach oben und dem Aequator zugewendeten Ende zuerst berührt, an diesem Ende werden die Atome des Eisens zuerst gezwungen, den leeren Zwischenräumen zwischen je zwei den elektrischen Strom in der Luft fortleitenden Atomen sich zu nähern, und an diese zuerst einer Anziehung unterworfenen Atome reiht sich die consecutive Annäherungsbewegung der übrigen mit ihnen in Zusammenhang stehenden Atome des besagten Eisenstabes. In dem nach oben und dem Aequator zu gehaltenen Ende des Eisenstabes findet daher die Anziehung der übrigen Eisenatome statt, die Zugbewegung geht also von dessen unterem und nach Norden zugewendetem Ende zu dem obern und dem Aequator zugewendeten Ende des Eisenstabes, — dort ist der positive oder Nordpol, hier der negative oder Südpol des in dem elektrischen Strom der Erdoberfläche zum Magnet gewordenen Eisenstabes, eines natürlichen Elektromagneten.

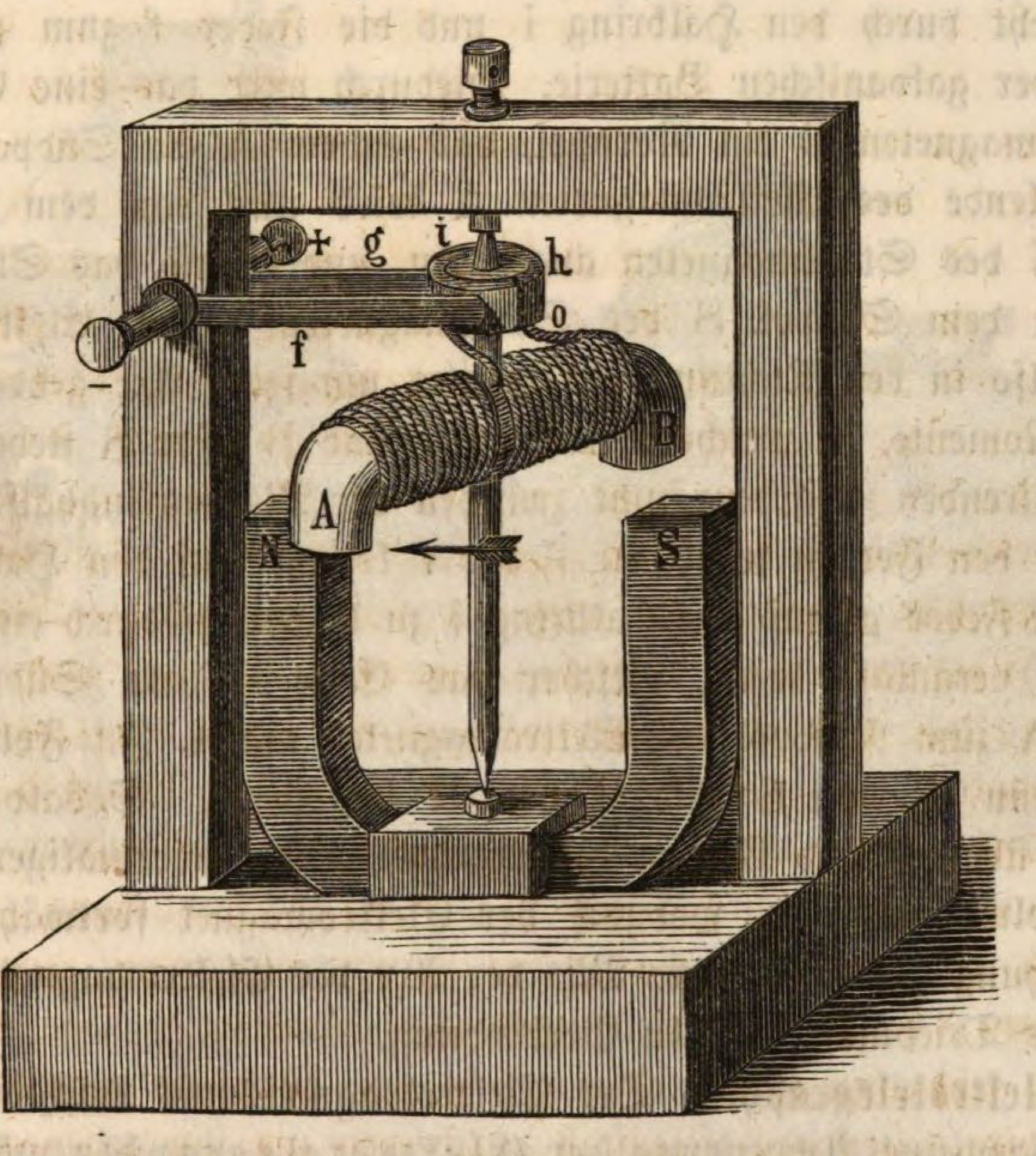
Induktionsapparat. Um die Induktionsströme anwendbar zu machen, muß der elektrische Strom in dem Hauptdraht zur jedesmaligen Anwendung unterbrochen werden. Induktionsströme in schnell auf einander folgenden Zeittheilchen hervorzubringen, dazu sind unter allen mechanischen Vorrichtnngen die nach dem von Wagner herrührenden Prinzip des magnetischen Hammers zusammengesetzten die geeignetsten. In diesen wird nämlich die Unterbrechung des in den Hauptdraht gehenden galvanischen Stromes mittels der Anziehung eines in dem Leitungsdraht eingeschalteten beweglichen Eisenstückes durch einen mittels desselben galvanischen Stromes zu einem Elektromagneten umgewandelten Eisenstab hervorgebracht. Der magnetische Hammer ist ein solches ein-



geschaltetes weiches Eisenstück a, welches auf einem breitgeschlagenen und federnden Kupferdraht festgelöthet ist und an die Metallplatte c durch die Federkraft desselben angedrückt wird. Diese Metallplatte c steht mit dem Leiter des einen (positiven) Poles eines Elektromotors (galvanischen Batterie), sowie der Draht b mit dem einen Ende des Drahts der Hauptspirale e, in welcher der zum Elektromagnet werdende Eisenstab f steckt, in Verbindung, — anderseits ist das andere Ende g des Hauptdrahtes mit dem andern (negativen) Pole des Elektromotors verbunden. Der elektrische Strom geht nun durch d c a b e g. Während nun der in der Hauptspirale steckende Eisenstab durch den um ihn gehenden elektrischen Strom elektromagnetisch wird, zieht er den aus weichem Eisen bestehenden beweglichen Hammer a an. Hierdurch wird der Hammer von der Metallplatte c entfernt, und also auch dadurch der elektrische Strom unterbrochen, in welchem Moment der Induktionsstrom aus dem Nebendraht bemerkbar wird. Mit der Unterbrechung des elektrischen Stromes hört aber auch der Elektromagnet f auf, magnetisch anziehend auf den Hammer zu wirken, der Hammer

wird, befreit von der Anziehung zu dem Elektromagnet, durch die federnde Beschaffenheit des Kupferdrahtstieles, auf dem er ruht, wieder an die Metallplatte c angedrückt, und also wird wieder die leitende Verbindung mit dem einen Elektropol hergestellt. So wechselt in kurzen Zeiträumen Unterbrechung des elektrischen Stromes mit der Wiederherstellung desselben, — die Induktionsströme folgen sich schnell auf einander.

Elektromagnetische Motoren. Der Elektromagnetismus wurde auch als Triebkraft zu benützen versucht. Das Princip der elektromagnetischen Motoren beruht auf der kräftigen Anziehung und Abstoßung eines Elektromagneten durch einen andern natürlichen, Stahl- oder Elektro-Magneten. Ritchie's neben abgebildeter



Apparat mag dasselbe veranschaulichen. Ein U förmiger Stahlmagnet ist in vertikaler Richtung mit nach oben stehenden Polarenden auf einem Brette befestigt. In der Mitte zwischen den beiden Schenkeln desselben befindet sich eine vertikale eiserne Achse, welche, unten spitzig zulaufend, drehbar ist. An dieser Achse ist in horizontaler Richtung ein Elektromagnet, dessen Polenden bei der Drehung um die vertikale Achse gerade über den Polen des Stahlmagneten

hinweg gehen. Ueber dem Elektromagneten ist auf der Axe eine Holzscheibe befestigt, welche von einem an zwei sich gegenüber liegenden Stellen unterbrochenen Messingring umgeben ist. An der einen Hälfte h dieses Messingringes ist das eine Ende o der Drahtspirale um den Elektromagneten, — das andere Drahtende an die andere Hälfte i des Messingringes angelöthet. Auf der Oberfläche der beiden Messingringhälften schleifen beiderseits die Metallfedern f und g, auf deren äußeren Enden die Klemmschrauben zur Aufnahme der Poldrähte einer galvanischen Batterie befestigt sind. Läßt man nun den positiven Strom durch die Feder g einlaufen, so kömmt er mittels des Halbringes h zu dem einen Ende des Drahtes o, durchströmt die Drahtwindungen des Elektromagneten und geht durch den Halbring i und die Feder f zum negativen Ende der galvanischen Batterie. Hiedurch wird das eine Ende des Elektromagneten B ein Nordpol, das andere A ein Südpol. Das Südpolende des Elektromagneten A wird nun von dem Nordpolende N des Stahlmagneten angezogen, und ebenso das Südpolende B von dem Südpol S des Stahlmagneten. Der Elektromagnet wird also in der Richtung des Pfeiles um seine Axe gedreht. In dem Momente, in welchem A über N und B über S stehen, gehen die isolirenden Zwischenräume zwischen der Messingringhälfte h und i unter den Federn weg, die Feder f kommt auf den Halbring h, und die Feder g auf den Halbring i zu liegen, wodurch ein Stromwechsel veranlaßt wird, welcher das Ende B zum Südpol, das Ende A zum Nordpol des Elektromagneten macht. In Folge dessen wird nun A von S und B von N angezogen. Sobald aber A wieder über S und B über N ankommt, findet abermaliger Strom- und Polwechsel statt, wodurch der Elektromagnet fortwährend zur Umdrehung gebracht wird. Mit der Axe des Elektromagneten stehen nun die Triebmaschinen in Verbindung.

Elektrotelegraphie. Der Elektromagnetismus machte auch die nun allgemeine Anwendung der Elektrotelegraphie möglich, zu welcher in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts mit der Reibungselektricität, — nach Entdeckung des Galvanismus mittels dieses (Sömmering, Voofzelmann de Heer), und von Gauß und Weber mittels Induktionsströmen Versuche gemacht wurden. Der zur Zeit gebräuchlichste Elektrotelegraphenapparat ist der Morse'sche Schreibapparat. Die Grundidee von demselben ist ein zweiarmiger in seinem Stützpunkt drehbarer Hebel, dessen einer

Arm durch Federkraft gehoben und durch die Anziehungskraft eines Elektromagneten niedergezogen wird. Der andere Arm, der sich folgegemäß senkt, wenn der eine Arm gehoben wird, und in die Höhe getrieben, wenn der eine niedergezogen wird, ist mit einem nach aufwärts gerichteten Metallstifte versehen, der sich, wenn der Arm gehoben wird, in ein durch ein Uhrwerk fortgeschobenes Papierband einsticht, also ein Loch, wenn er nur einen Augenblick lang gehoben wird, und einen Riß oder Strich, wenn er längere Zeit gehoben bleibt, in dem Papier verursacht. Wie aus nebenstehender

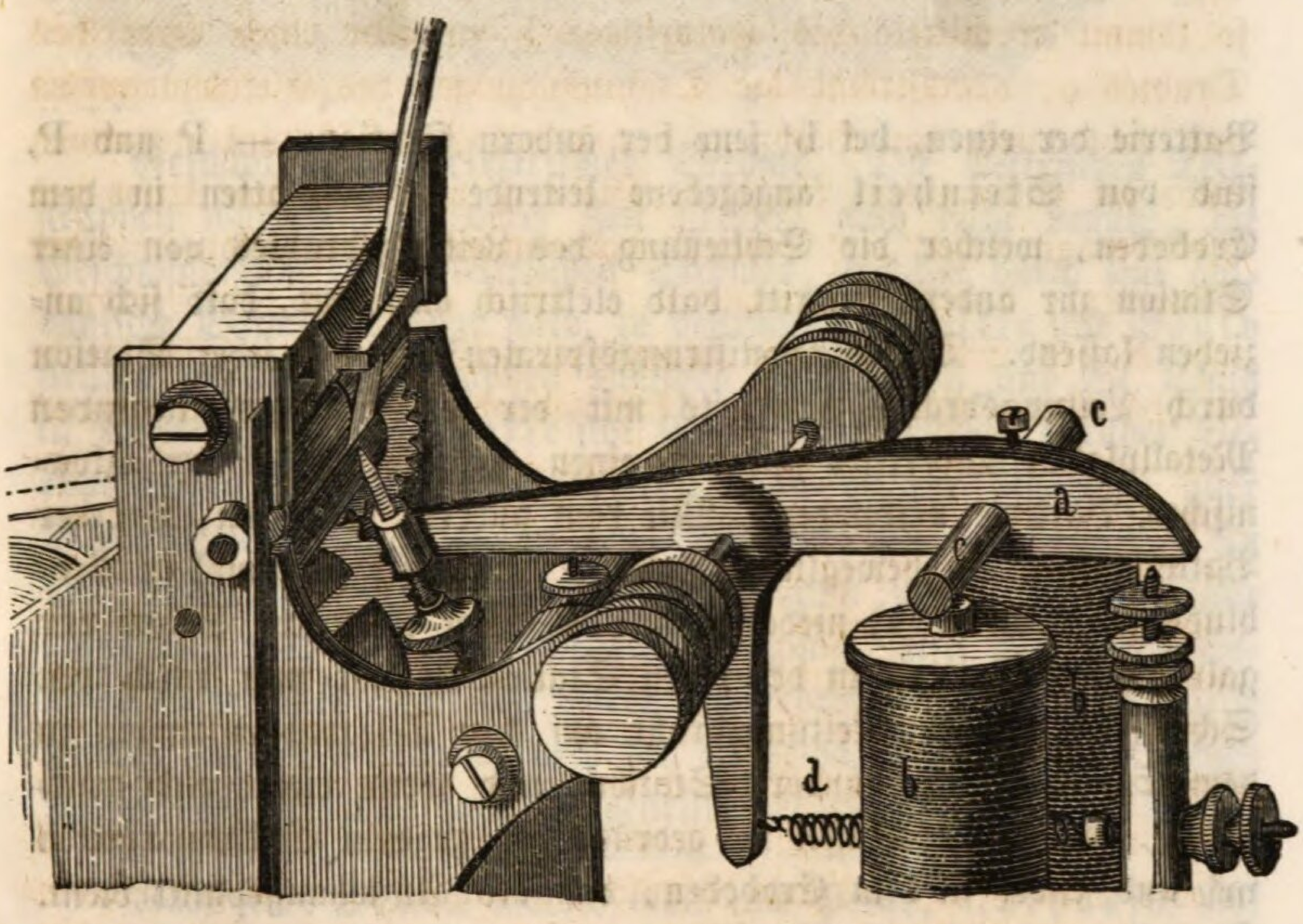
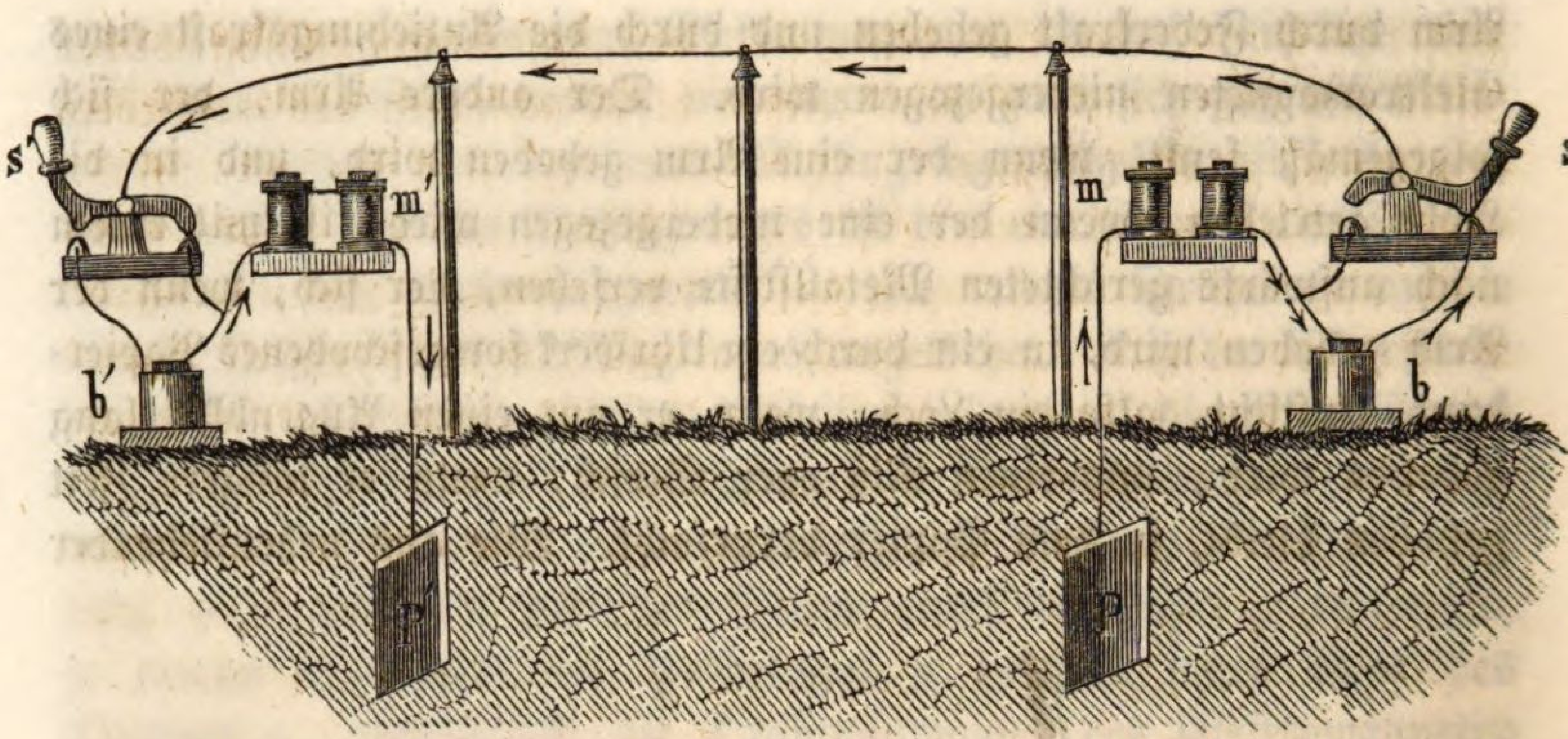


Abbildung zu ersehen, wird der Hebelarm a durch einen an einem Statif b befestigten federnden Spiraldraht d eines dritten nach unten vertikal abwärts stehenden Armes in der Höhe erhalten, und mittels Anziehung eines quer durch ihn gehenden Eisenstabes c durch den Elektromagneten b b nach unten gezogen. Der Elektromagnet erhält seine Anziehungskraft durch einen elektrischen Strom, welcher durch einen Leitungsdraht von einer fernen Station aus einer galvanischen Batterie seinen ihn umgebenden Drahtspiralen zugeleitet wird. In der folgenden Abbildung ist bei m der Elektromagnet, welcher die Senkung des Hebelarmes bewirkt, auf der einen, bei m' auf der andern Station, — bei b die galvanische



Batterie der einen, bei b' jene der andern Station; — P und P, sind von Steinheil angegebene leitende Metallplatten in dem Erdboden, welcher die Schließung des Leitungsdrahtes von einer Station zur andern vertritt, bald elektrisch anziehend, bald sich anziehen lassend. Die Magnetisirungsspiralen sind auf jeder Station durch Leitungsdrähte einerseits mit der im Erdboden liegenden Metallplatte, anderseits mit dem einen, negativen, Pol der galvanischen Batterie verbunden. Mit dem andern, positiven, Pol der Batterie steht ein beweglicher Hebel s (Schlüssel genannt) in Verbindung, wenn er (s) niedergedrückt ist. Der elektrische Strom der galvanischen Batterie in der einen Station b geht nun durch den Schlüssel s und den Leitungsdraht auf den Telegraphenstangen zu dem Schlüssel s' der andern Station, und wenn dieser nicht rückwärts, wie der Schlüssel s, gedrückt ist, zu dem Elektromagneten m' und endet in dem Erdboden, der als Anziehungspunkt dient. So oft nun auf den Schlüssel der ersten Station gedrückt wird, empfängt der Elektromagnet m' der zweiten Station den elektrischen Strom der Batterie b auf der ersten Station und zieht mittels der ihm gewordenen Anziehungskraft den eisernen Querbalken des Hebels des Schreibapparates an und also den entsprechenden Arm nieder, wodurch des Hebels anderer Arm gehoben und durch den Stift desselben ein Loch in den rollenden Papierstreifen oder bei einigem Anhalten des Druckes auf den Schlüssel ein Längenriß gemacht wird. Die Richtung der Pfeile auf der Abbildung zeigt den Lauf des Stromes an. In umgekehrter Richtung läuft er, wenn der Schlüssel der ersten Station s nicht, der Schlüssel s' der zweiten Station aber gedrückt ist. Aus der verschiedenen An-

zahl der Punktlöcher und Risse und der Zusammenhäufung beider lassen sich durch diese beiden Zeichen die Buchstaben des Alphabets bezeichnen, z. B. bedeutet

.—	a	—.—	k	—	t
—...	b	.—..	l	..—	u
—.—.	c	——	m	...—	v
—..	d	—.	n	.——	w
.	e	.—...	o	..—...	x
..—.	f	.....	p	——...	y
——.	g	——.—	q	.——..	z
....	h	.—.	r		
..	i	...	s		

Geschwindigkeit elektrischer Ströme. Die elektrischen Telegraphen wurden in neuerer Zeit (1850) auch dazu benützt, die Geschwindigkeit eines elektrischen Stromes, welcher durch eine galvanische Batterie erzeugt wird, zu bestimmen. Walker und Gould stellten auf den Telegraphen zwischen Washington und St. Louis in Amerika, wo die Morse'sche Einrichtung besteht, darüber Beobachtungen an. Den Strom ließ man in der Ruhelage aller Schlüssel ununterbrochen in den Leitungsdrähten cirkuliren. An dem einen Ende der Leitung in Washington war eine Pendeluhr aufgestellt, und nach jeder Pendelschwingung, also nach jeder Sekunde wurde momentan der Strom unterbrochen. Auf diese Weise wurden auf jeder Station durch den Schreibapparat in das rollende Papier eine Sekunde lang Längenrisse verursacht, ungefähr so:

———— ———— ———— ———— ————

Nach jeder Minute machte man eine Pause, Uhrpause. Auf der andern Endstation der ganzen Leitungslinie in St. Louis wurde der Strom von Zeit zu Zeit unterbrochen (Signalpause). Es hat sich nun gezeigt, daß diese Unterbrechung während einer Sekunde auf den verschiedenen Stationen nicht an der gleichen Stelle des entsprechenden Sekundenstriches bezeichnet war, — in St. Louis war die Signalpause näher am Anfang, in Washington näher am Ende des Sekundenstriches, etwa so

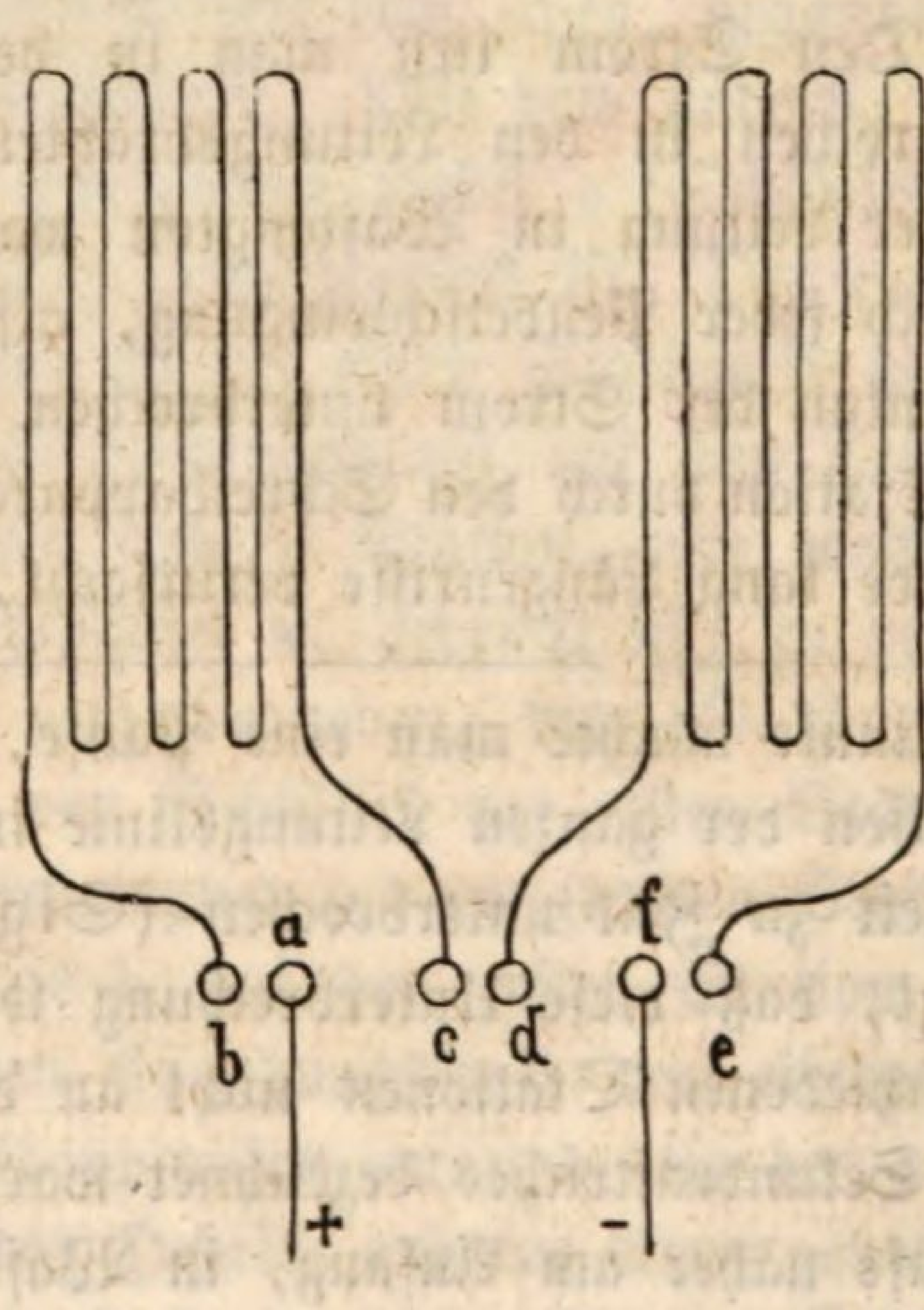
St. L. ——— ——— — ——— ——— ———

W. ——— ——— ——— — ——— ———

Aus dem Unterschied in der Lage der Signalpausen hat man nun auf die Geschwindigkeit der Verbreitung des elektrischen Stromes geschlossen. Aus vielen Beobachtungen und der Berechnung

der Differenz der Ankunft der Signalpausen mit der Entfernung zwischen den Stationen hat sich als Mittelwerth für die Geschwindigkeit, mit welcher ein galvanisch-elektrischer Strom fortgeleitet werde, ergeben, daß derselbe in der Sekunde 15,890 engl. Meilen fortgeleitet werden kann. Die Leitungsdrähte bestanden aus Eisen von 3 ^{mm} Durchmesser. Durch Vergrößerung der elektromotorischen Kraft mittels Einschaltung einer zweiten galvanischen Batterie ergab sich kein merklicher Zuwachs in der Geschwindigkeit. Daraus folgt zwar noch nicht, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität von der Stromstärke unabhängig sey, indeß ist daraus zu ersehen, daß die Geschwindigkeit der Fortleitung der elektrischen Bewegung ihren gewichtigeren Grund in der Atomenbeschaffenheit des Leitungsmateriales hat. Denn wie wir sogleich sehen werden, wurde die Reibungselektricität nach Wheatstone's Versuchen durch Kupferdraht von 1,7 ^{mm} Durchmesser ungefähr 18 mal schneller fortgeleitet.

Auf einem Brett hatte Wheatstone 6 Kugeln befestigt. Die Kugel a stand mit dem innern Beleg einer Leidner Flasche mittels



eines Drahtes in Verbindung. Von der Kugel a war die Kugel b $^1/_{10}$ Zoll entfernt. Von der Kugel b bis zur Kugel c war in vielen Windungen ein $^1/_4$ engl. Meile langer Kupferdraht befestigt. Die Kugel d war von der Kugel c ebenfalls $^1/_{10}$ Zoll weit entfernt. Die Kugel d stand nun gleichfalls durch einen $^1/_4$ englische Meile

langen Draht mit der Kugel e in Verbindung. Endlich die Kugel f war von der Kugel e ebenfalls $^1/_{10}$ Zoll weit entfernt. Die Kugel f wurde nun mittels eines Drahtes mit der äußern Belegung derselben Leidner Flasche in Verbindung gebracht. Die Folge davon ist, daß bei der Entladung ein elektrischer Funke von der Kugel a zur Kugel b, ein zweiter von der Kugel c zu der Kugel d und ein dritter von der Kugel e zu der Kugel f überspringt. Die 6 Kugeln lagen in einer horizontalen Linie.

Zehn Fuß von diesem Funkenbrett entfernt in gleicher Höhe mit demselben war ein Apparat mit einem rotirenden Spiegel angebracht. Ein ebener Spiegel war nämlich auf einem Rotationsapparat vertikal befestigt, der in einer Sekunde 800 Umdrehungen macht. Die Rotationsaxe wurde wagerecht und parallel den Kugeln gestellt. Der Beobachter stellte sich so, daß die Rotationsaxe gerade gegen ihn gerichtet war, und sah dann von oben auf den Spiegel herab. Die Kugeln waren also jenem sichtbar, wenn der Spiegel gerade einen Winkel von 45° mit dem Horizonte machte. Wäre der Spiegel in dieser Stellung ruhig stehen geblieben, so würde man die von den einen zu den andern nebenstehenden Kugeln überspringenden Funken so ⋮ gesehen haben. Allein bei rascher Rotation erschienen alle drei in die Länge gezogen und außerdem erschien die mittlere noch gegen die äußere verrückt, und zwar so ═══, wenn der Spiegel von der rechten zur linken rotirte, und so ═══, wenn er von der linken zur rechten rotirte. Das in die Länge gezogene Spiegelbild der Funken zeigt an, daß der elektrische Funken kein momentaner, sondern ein successiver Vorgang ist. Die Verschiebung des mittleren Funkenbildes betrug ungefähr einen $^1/_2$°, der mittlere Funken erschien also um $\frac{1}{1152000}$ Sekunde später, als der äußere. In dieser Zeit hatte also der elektrische Strom den $^1/_4$ englische Meile langen Kupferdraht zwischen der Kugel b und c durchlaufen. Der elektrische Strom legt also in einer Sekunde einen Weg von $\frac{1152000}{4} = 288000$ englische oder 60000 deutsche Meilen zurück.

Wie wir oben schon bemerkten, ist die Leitungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes hier in dem Wheatstone'schen Versuche ungefähr 18 mal größer, als die des galvanisch-elektrischen Stromes

in den Beobachtungen an den amerikanischen Elektrotelegraphen. Woher dieser Unterschied in der Geschwindigkeit?

Wir haben in dem Kapitel über Bewegung überhaupt bemerkt, daß die Geschwindigkeit derselben abhängt von der Größe der bewegenden Kraft, von der Andauer derselben, von der Entfernung des zu bewegenden Körpers von derselben und endlich von der Kleinheit des Widerstandes, den der zu bewegende Körper jener entgegensetzt.

In dem Wheatstone'schen Experimente über die Geschwindigkeit der Reibungselektricitätsfortpflanzung kann man annehmen, daß die Größe der bewegenden Kraft in einem Momente eine bedeutendere war, als jene bei dem amerikanischen Elektrotelegraphen. Die Zahl der in einem Moment sich bewegenden, einen elektrischen Stoß verursachenden Atome der Belegungsmasse der Leidner'schen Flasche kann als eine größere angenommen werden, als jene in einer galvanischen Batterie, z. B. die Anzahl der von dem Kupfer oder drgl. berührten Zinkatome. Die Entladung einer Leidner'schen Flasche oder Batterie ist eine plötzliche und momentane, die Entladung einer Volta'schen Säule oder andern galvanischen Batterie ist eine successivere, allmählige oder continuirliche. Hieraus folgt, daß die Atome des Leitungsdrahtes bei dem Wheatstone'schen Experimente eine größere Bewegungsgeschwindigkeit für einen Moment erlangten, als bei den amerikanischen Experimenten.

Da es sich bei besagten Experimenten nur um eine kurze Zeitdauer handelte, so kömmt bei der Vergleichung beiderlei Experimente der zweite Umstand, von welchem die Geschwindigkeit des zu bewegenden Körpers, der Atome des Leitungsdrahtes abhängt, nämlich die Andauer der bewegenden Kraft nicht in Betracht, welche bei einer galvanischen Batterie eine fortgesetzte, also beschleunigende ist, — bei der Leidner'schen Flasche nur eine momentane, sich nicht wiederholende.

Was den dritten Punkt anbelangt, die Entfernung des bewegten Körpers von der bewegenden Kraft, wobei die Geschwindigkeit des bewegten Körpers abnimmt mit dem Quadrate seiner Entfernung von der Kraftquelle, — so besteht allerdings ein Unterschied in beiden Experimenten, indem bei dem Wheatstone'schen Experimente der Leitungsdraht nur ¼ englische Meile lang war, bei dem amerikanischen Experimente aber betrug die Drahtlänge

zwischen St. Louis und Washington 1045 englische Meilen. Die Geschwindigkeit der schwingenden Atome in dem Leitungsdraht während oder unmittelbar nach der in St. Louis gegebenen Signalpause muß also in Washington eine geringere gewesen seyn, als näher an St. Louis. Die Berechnung der Geschwindigkeit der Fortpflanzung eines elektrischen Stromes kann daher in beiden Experimenten keine genaue und richtige seyn. Man kann nur behaupten: die Reibungs-elektrische Bewegung hat sich im Wheatstone'schen Versuch über einen ¼ engl. Meile langen Kupferdraht mit einer Geschwindigkeit fortgepflanzt, welche der Geschwindigkeit gleich kömmt, mit welcher ein Körper etwa in einer Sekunde 60,000 deutsche Meilen zurücklegt; — oder in den amerikanischen Versuchen: die galvanisch-elektrische Bewegung hat sich in einem 1045 engl. Meilen langen Eisendraht mit einer Geschwindigkeit fortgepflanzt, mit welcher ein Körper in einer Sekunde einen Weg von 15890 engl. Meilen zurücklegt.

Aus dem Gesetze, daß die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers in umgekehrtem Verhältniß zu dem Quadrat seiner Entfernung von der bewegenden Kraft steht, läßt sich, wie wir in dem Abschnitt von der Bewegung im Allgemeinen andeuteten, die Folgerung machen, daß Atome, welche kleiner, also zusammengezogener sind, eine größere Geschwindigkeit in ihrer Bewegung haben, als Atome, welche größer, also ausgedehnter sind. Leitungskörper also, welche aus Atomen bestehen, welche kleiner sind, leisten einen kleineren Widerstand der bewegenden Kraft, als Leitungskörper, deren Atome größer sind. Deßgleichen sind Körper, welche aus lauter oder mehr kleinen Atomen bestehen, bessere Leiter eines elektrischen Stromes, als Körper, welche theils aus kleinen, theils aus größeren Atomen zusammengesetzt sind, — und sind desto schlechtere Leiter, je mehr ausgedehntere Atome Antheil an ihrer Zusammensetzung haben. Man hat durch experimentelle Forschung bewiesen, daß die Metalle einen viel geringeren Leitungswiderstand der elektromotorischen Kraft entgegensetzen, als Flüssigkeiten, und daß unter den Metallen Silber und Gold eine geringere Leitungswiderstandsfähigkeit besitzen als Kupfer, — ferners daß Messing, Zink, Platin, Eisen, Neusilber und besonders Quecksilber einen größern Leitungswiderstand gewähren als Kupfer. Wenn man die Leitungswiderstandsfähigkeit des Kupfers = 1 setzt, so drücken folgende Zahlen ungefähr die specifische Leitungswiderstandsfähigkeit nachfolgender Metalle aus:

Silber	0,73
Gold	0,97
Kupfer	1,00
Zink	3,57
Messing	3,95
Platin	4,54
Eisen	5,88
Neusilber	11,33
Quecksilber	38,46

und von den Flüssigkeiten im Vergleich zu Silber = 1

Gesättigte Lösung von Kupfervitriol	18450000
" " " Kochsalz	3173000
" " " salpetersaurem Kupfer	11120000
" " " schwefelsaurem Zink	17330000
Verdünnte Schwefelsäure (220 Wasser mit 20 Schwefelsäure)	1128000
Käufliche Salpetersäure von 36° B.	1606000
ferners	
Gesättigte Lösung von Kupferoxyd	18450000
desgl. verdünnt zum 2fachen Volumen	28820000
" " " 4fachen "	48080000
Gesättigte Kochsalzlösung	3173000
desgl. verdünnt zum 2fachen Volumen	4333000
" " " 3fachen "	5721000
" " " 4fachen "	7864000

Der Leitungswiderstand wächst mit einer Temperaturerhöhung, also wenn die Atome mehr ausgedehnt werden. Bei dem Ueberblick dieser Zusammenstellung läßt sich aus dieser ersehen, daß Körper mit zusammengezogenen, also kleineren Atomen eine bessere Leitungsfähigkeit besitzen, als Körper mit ausgedehnten, d. i. größeren Atomen, — und zweitens, daß die besser leitenden Metalle, wie Silber, Gold und Kupfer, weniger poröse seyn müssen, als die schlechter leitenden, wie Eisen, Neusilber, — d. i. daß diese mehr unmetallische, ausgedehntere Atome bei ihrer Zusammensetzung besitzen, als die edleren Metalle.

Anmerkung. Um die bessere oder schlechtere Leitungsfähigkeit, d. i. den größeren oder geringeren Leitungswiderstand eines Metalles zu prüfen, hat man in die Leitungskette einer galvanischen Batterie ein Stück Draht des zu prüfenden Metalles eingeschaltet und darnach die Strom-

stärke gemessen, indem man den Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes = 1 annahm. Die Messung der Stromstärke geschieht am gewöhnlichsten durch den Versuch, um wie viel eine Magnetnadel durch den um sie kreisenden elektrischen Strom von ihrer Richtung nach Norden abgelenkt wird. In der Mitte eines kupfernen Ringes, dessen durch Elfenbein isolirte Enden mit den Polbrähten einer galvanischen Batterie verbunden sind, befindet sich eine kleine Magnetnadel, Bussole. Der Apparat, wie er neben abgebildet, wird in den magnetischen Meridian gestellt. Läßt man nun einen galvanischen Strom durch den Ring gehen, so wird die nach Norden sehende Magnetnadel durch den auf diese halb anziehend, halb abstoßend wirkenden elektrischen Kreisstrom in eine mit dem magnetischen Meridian mehr oder weniger rechtwinkelige Stellung gebracht werden. Je mehr also ein in dem Kupferring gehender elektrischer Strom die in der Mitte befindliche Magnetnadel von dem magnetischen Meridian ablenkt, desto stärker ist er. Man nennt diesen Strommesser die Tangentenbussole, weil die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional ist.



Dasselbe Instrument wird auch zur Messung der Leitungsfähigkeit von Flüssigkeiten benützt, nachdem man statt eines Metalldrahtstückes eine Flüssigkeit in geeigneter Vorrichtung in den Schließungsbogen einer galvanischen Batterie einschaltet.

Einfluß der Zusammenhangskraft der Körper auf die elektrische Bewegung in denselben. Aus den obigen Versuchen ging auch hervor, daß, ein je längeres Stück Drahtes irgend eines Metalles in den Schließungsbogen einer galvanischen Batterie eingeschaltet wurde, eine desto geringere Ablenkung der Magnetnadel aus dem Meridian erfolgt, also einen desto größeren Leitungswiderstand das Stück Draht bietet. Wird aber statt eines langen dünnen Drahtstückes ein langes dickeres eingesetzt, so vermindert sich der Leitungswiderstand, — und zwar in dem Verhältniß, daß, wenn man statt des ersten ein 2, 3, 4 mal dickeres Drahtstück desselben

Metalles einschaltet, dieses eine 4, 9 und 16 mal größere Länge besitzen muß, um mit dem ersten eingeschalteten Drahtstück gleichen Leitungswiderstand bemerkbar zu machen. Daraus folgt, daß zwei Drähte desselben Metalles gleichen Leitungswiderstand ausüben, wenn sich ihre Längen verhalten wie ihre Querschnitte, — und: der Leitungswiderstand eines Metalldrahtes verhält sich wie seine Länge und umgekehrt wie der Flächeninhalt seines Querschnittes.

Werden statt eines dicken Drahtstückes zwei nur halb so dicke eingeschaltet, welche an der einen Einschaltungsstelle zweispaltig auslaufen und an der andern sich wieder vereinigen, so ist das Resultat der Stromstärke dasselbe, als wäre nur ein Drahtstück von dem doppelten Durchmesser eines der beiden Drahtstücke eingeschaltet. Bei der Magnetisirung von weichem Eisen durch einen elektrischen Strom wird ein ähnliches Verhältniß wahrgenommen, nämlich, daß mehrere einzelne in Bündel vereinigte Eisenstäbe eine größere elektromagnetische Anziehungskraft äußern, als nur ein ganzes Eisenstück von demselben Umfang, den der Eisenstäbebündel einnimmt. Auch hat man die Erfahrung, daß ein Elektromagnet an den Grenzen seines Umfanges eine größere Anziehungskraft besitzt, als an den Stellen seiner Mitte. Eine mit dieser analoge Erscheinung ist, daß die Elektricität meist nur und immer zuerst an der Oberfläche der Körper, z. B. massiver oder hohler Kugeln verbreitet ist.

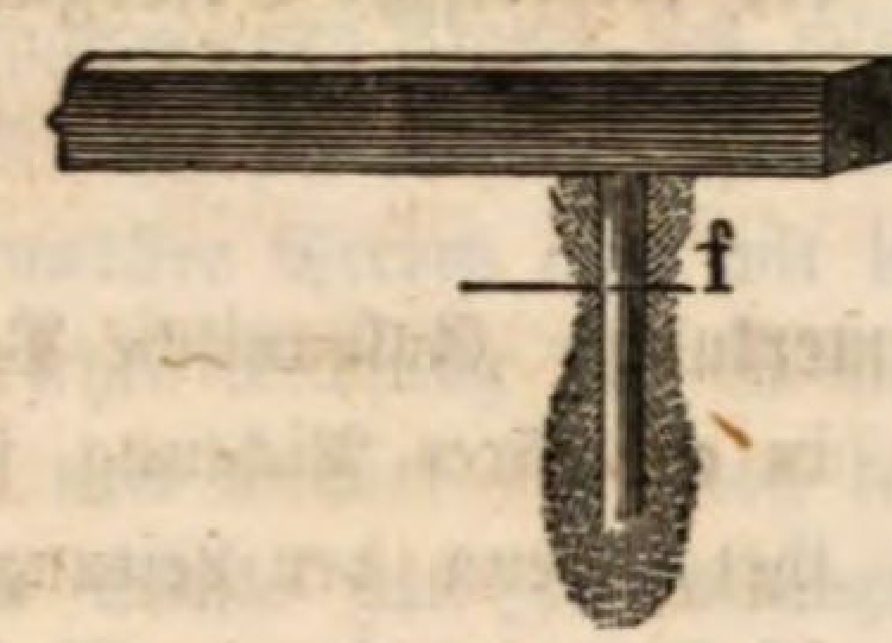
Diese auffällige Erscheinung hat unserer Ansicht nach ihren Grund in dem Widerstand, den die Cohäsionskraft in den dem Mittelpunkt und daher auch Schwerpunkt näher gelegenen Atomen der elektrischen bewegenden Kraft entgegensetzt. (Denn Widerstand leistet einer neuen Bewegungskraft ein Körper, auf welchen schon eine andere Kraft wirkend ist.) Die Cohäsionskraft scheint aber in den dem Mittelpunkt und Schwerpunkt eines Körpers nahe gelegenen Atomen eine größere zu seyn, als an den Oberflächen des Körpers. Wird nun ein Körper von einer elektromotorischen Kraft berührt, so sind die mehr peripherischen Atome leichter in Bewegung, nämlich in Vibration zu versetzen, als die centralen Atome. Würde die Richtung der Atomenschwingungen mit der Richtung der Zusammenhangsanziehung, mit der Richtung der Cohäsionskraft zusammenfallen, so würde diese die Atomenschwingung beschleunigen, während sie bei einer von ihr abweichenden Schwingungsrichtung auf diese verzögernd einwirkt.

Einen in die Augen fallenden Beweis für die Ansicht, daß die Cohäsionskraft der elektrischen oder magnetischen Atomenvibration entgegenwirkt, gibt die Erscheinung ab, daß ein Magnetstab an

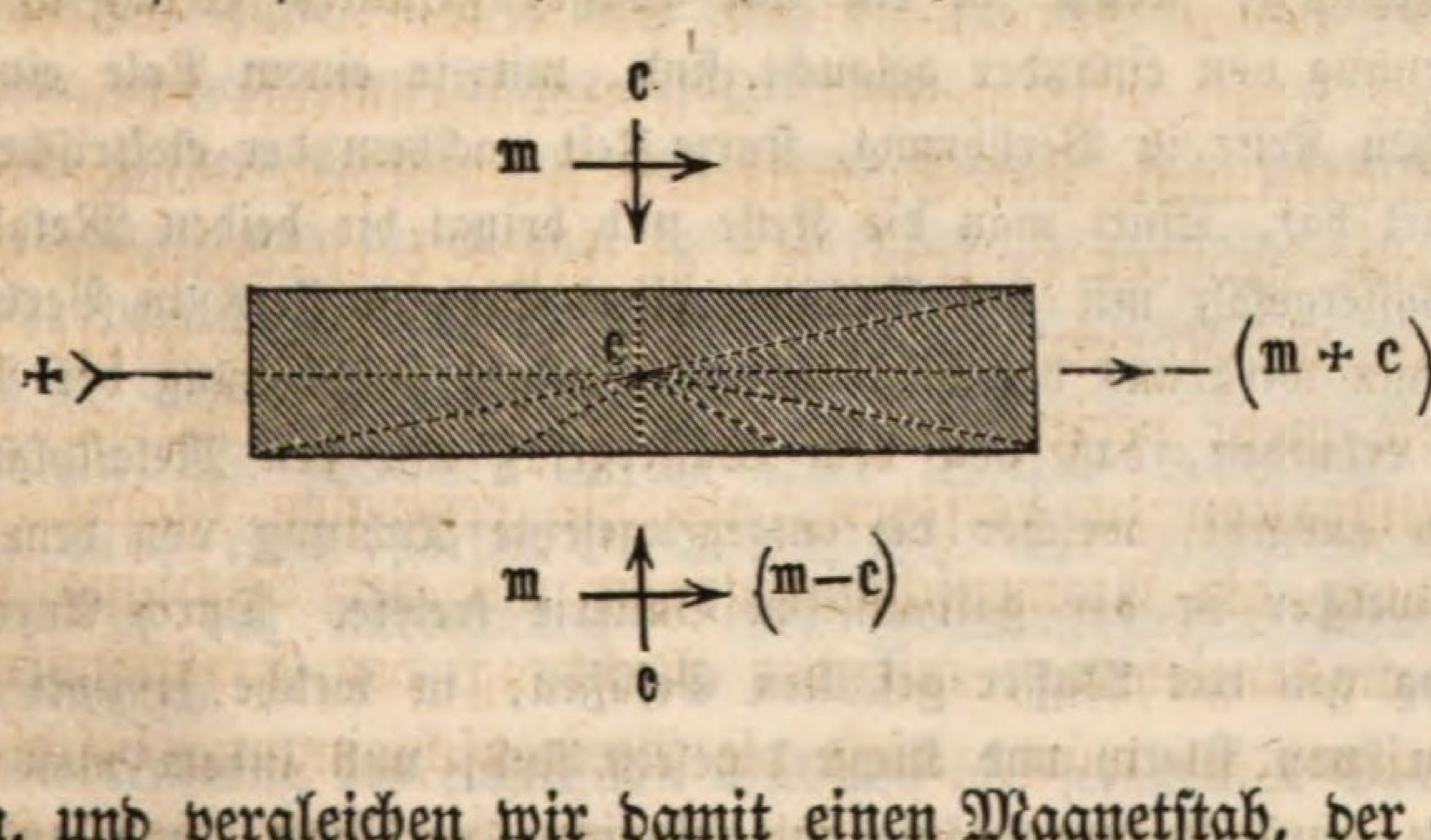


seinen Enden am stärksten Eisenfeilspäne, in seiner Längenmitte aber am wenigsten oder gar nicht anzieht, so daß man eine quer durch den Mittelpunkt gedachte Linie des Magneten Mittel- oder neutrale Linie zu nennen pflegt.

Einen nicht minder triftigen Beweis für die Ansicht, daß die größte Wirkung oder das Centrum der Wirkung der Cohäsionskraft ungefähr wenigstens mit dem Schwerpunkt eines Körpers zusammenfällt, gibt eine andere aber ähnliche Erscheinung ab, daß ein Eisenstab, der in einer Querrichtung von einem Magnetstab getragen wird, bei der Anziehung von Eisenfeilspänen seine neutrale Mittellinie nicht in seiner geometrischen Mitte zeigt, sondern in dem Punkt f, welcher die Mitte einer Linie ist, welche durch die Länge eines Eisenstabes und die Quere des diesen tragenden Magneten gezogen man sich denkt.



Betrachten wir den Längendurchschnitt eines Eisenstabes und denken wir uns von seinem geometrischen Mittelpunkt, der ungefähr auch der Schwerpunkt desselben ist, nach allen Richtungen Radien



gezogen, und vergleichen wir damit einen Magnetstab, der an seinen beiden Enden die größte Anziehungskraft für Eisenfeilspäne hat, so

fallen die Richtungen der größten Anziehungskraft des Magneten mit der Richtung der Radien des Durchschnittes zusammen ($m + c$). Zunächst die größte Anziehungskraft zeigen diejenigen Punkte, an welchen die Richtung der Schwingungen der Atome mit der Richtung der Radien einen spitzen Winkel ($\frac{m}{c} = m > c$), — eine geringere Anziehung zeigen diejenigen Stellen, an welchen die Richtung der Atomenschwingungen mit der Richtung der Magnetradien einen stumpfen Winkel machen ($\frac{m}{c} = m < c$), und endlich eine einer Null gleichkommende Anziehung zeigen jene Punkte, an welchen die Richtung der Atomenschwingungen mit der Richtung der Radien der centripetalen Cohäsionskraft einen rechten Winkel macht ($m — c$). Wir wissen aber aus der Lehre von der Bewegung im Allgemeinen, daß die Bewegung schwingender Körper oder Atome aufgehoben wird, wenn zwei bewegende Kräfte in ihrer Richtung sich in einem rechten Winkel treffen, ein Ereigniß, das bei dem Lichte Polarisation desselben genannt wird. Die Einwirkung der Cohäsionskraft auf die elektrische Bewegung kann auch gewissermaßen mit der Lichtbrechungskraft verglichen werden.

Anmerkung. Galvanische Polarisation, Aufhebung oder Schwächung zweier in conträrer Richtung sich treffender elektrischer Ströme wurde vermuthet, wenn der Leitungswiderstand einer galvanischen Kette durch Einschaltung zweier in Wasser getauchten Platin- oder anderer Metallplatten in dieselbe vermehrt wurde. Den Beweis für diese Vermuthung suchte man zu liefern in dem folgenden Experiment: Man bringe die beiden Metallplatten, welche in ein mit Wasser gefülltes Gefäß in einiger Entfernung von einander getaucht sind, mit je einem Pole einer galvanischen Kette in Berührung. Kurze Zeit nachdem der elektrische Strom cirkulirt hat, öffnet man die Kette und bringt die beiden Metallplatten im Wassergefäß mit den Drähten eines Strommessers in Verbindung, und man wird aus der dieß- oder jenseitigen Abweichung der Magnetnadel erkennen, daß von dem Wassergefäß mit den Metallplatteu ein Strom ausgeht, welcher die entgegengesetzte Richtung von dem Strom hat, welcher in der galvanischen Batterie kreiste. Durch Aneinanderreihung von mit Wasser gefüllten Gefäßen, in welche je zwei Metallplatten (von Platin und Kupfer) gesetzt sind, und indem man je zwei Gefäße durch Leitungsdrähte mit einander verbindet, und zuletzt die beiden äußersten Platten mit den Polen einer galvanischen Batterie oder

auch nur Eines Elementes, z. B. eines Bunsen'schen Bechers, in Verbindung bringt, — ist es möglich, in dieser secundären oder, wie sie ihr Erfinder Ritter nannte, Ladungssäule, — weil sie von den galvanischen Elementen mit Elektricität geladen werde, — nach Oeffnung der Kette, d. h. nachdem die secundäre Säule außer Verbindung gebracht ist mit der galvanischen Batterie, einen elektrischen Strom hervorzubringen, welcher zwar eine dem Urstrom entgegengesetzte Richtung hat, aber von viel größerer Stärke ist, als dieser selbst.

Die Entstehung des elektrischen Stromes der secundären Säule möchte auf folgende Art zu erklären seyn: Durch die beiden elektrischen Kräfte der galvanischen Batterie, der Abstoßungs- und der Anziehungskraft, werden die Atome der Elemente der secundären Säule theils in Zusammenziehungszustand, theils in Ausdehnungszustand versetzt. Hört nun der Einfluß der galvanischen Säule auf die secundäre oder die Ladungssäule auf, so ist die natürliche Folge, daß diejenigen Atome der secundären Säulenelemente, welche in vermehrten Zusammenziehungszustand versetzt wurden, sich wieder ausdehnen, und diejenigen Atome, welche in erhöhten Ausdehnungszustand versetzt wurden, wieder sich zusammenziehen. Werden nun die Elemente der secundären Säule unter sich im Kreise mit einander verbunden, so verursachen sie so lange einen elektrischen Strom, als die ehevor zusammengezogenen Atome sich wieder auszudehnen, und die ehevor ausgedehnten Atome sich wieder zusammenzuziehen Zeit nöthig haben. Daß dieser secundäre Strom eine mit dem ihn verursacht habenden Urstrom entgegengesetzte Richtung hat, ist ebenfalls natürliche Folge, weil nach der Seite, von welcher ein Stoß kam, der die Atome der Elemente der secundären Säule zur Zusammenziehung zwang, ein Gegenstoß durch die Wiederausdehnung der zusammengezogenen Atome, — und nach der Seite, von welcher eine Anziehung kam, welche die Atome der Elemente der secundären Säule zur Ausdehnung nöthigte, — die Anziehung der sich wieder zusammenziehenden vorher ausgedehnten Atome erfolgen muß.

Die größere Stärke des elektrischen Stromes der secundären Säule ist abhängig von der Anzahl ihrer Elemente, beziehungsweise der Atome, welche in Ausdehnungs- oder Zusammenziehungszustand durch die galvanische Batterie versetzt wurden, gleichgiltig, ob die Atome durch den continuirlichen schwachen Strom eines einzigen Volta'schen Elementes oder durch einen starken Strom mehrerer oder vieler Volta'schen Elemente in den Ausdehnungs- oder Zusammenziehungszustand versetzt worden sind.

Die Richtung des elektrischen Stromes der secundären Säule ist aber erst dann bemerkbar, wenn der elektrische Strom aus ihr entsteht, — dieser entsteht aber eigentlich erst nach der Trennung von der galva-

nischen Kette. So lange die secundäre Säule ein Leitungsglied der galvanischen Batterie ist, so lange ist der durch sie gehende Strom nur Einer, ein von den galvanischen Elementen ausgehender. Es herrscht kein diesem entgegengesetzter Strom zu gleicher Zeit, — also findet auch keine galvanische Polarisation darin statt.

Einfluß der Atomenausdehnung der Körper auf die elektrische Bewegung in denselben. Die Zusammenhangskraft der Körper begünstigt, wie wir gesehen haben, die elektrische Vibration der Leiter, wenn die Richtung dieser beiden Kräfte ein und dieselbe oder beinahe dieselbe ist; — jene verzögert die letztere, wenn beider Kräfte Richtungen unter einem stumpfen Winkel, und jene hebt die letztere auf, wenn beider Kräfte Richtungen unter einem rechten Winkel sich kreuzen. Bei Erwähnung des elektrischen Lichtes haben wir gesehen, daß die vermehrte Ausdehnung der Atome, der Luftatome nämlich, die Lichtempfindung erzeugende Atomenvibration begünstigt. Nicht dieses ist der Fall bei der den elektrischen Strom fortleitenden Atomenvibration. Je zusammengezogener die Atome eines Körpers sind, desto besser leitet dieser den elektrischen Strom, je ausgedehnter aber die Atome eines Körpers sind, desto schlechter leitet dieser den elektrischen Strom. Dieses ist schon aus dem enormen Unterschied des Leitungswiderstandes von Metallen und jenes von Flüssigkeiten zu ersehen (pag. 228). Die magnetische Anziehungskraft, oder, was dasselbe ist, die elektrische Bewegung in einem Magneten wird erhöht, durch Verstärkung der Cohäsionskraft z. B. wird die vorübergehende magnetische Kraft eines in die magnetische Meridianlinie einige Zeit lang gestellten Eisenstabes durch Schlagen mittels eines Hammers fixirt. Je härter ein Stahl ist, desto schwerer ist er künstlich zu magnetisiren, in desto höherem Grade besitzt er aber auch die Eigenschaft, den ihm einmal ertheilten Magnetismus beizubehalten. Hingegen verliert ein Magnet zum Theil oder gänzlich seine magnetische Kraft, wenn er bis zu einem gewissen Grade erwärmt wird, d. h. wenn seine Atome in erhöhten Ausdehnungszustand versetzt werden. Sowol ein natürlicher als ein künstlicher Magnet verliert seinen Magnetismus vollständig, wenn er bis zum Weißglühen erhitzt wurde, — nach seinem Wiedererkalten bemerkt man an ihm durchaus keine magnetische Eigenschaft mehr. Er muß, erkaltet, soll ihm letztere wieder angeeignet werden, neuerdings künstlich magnetisirt werden, — der Magnetismus kann

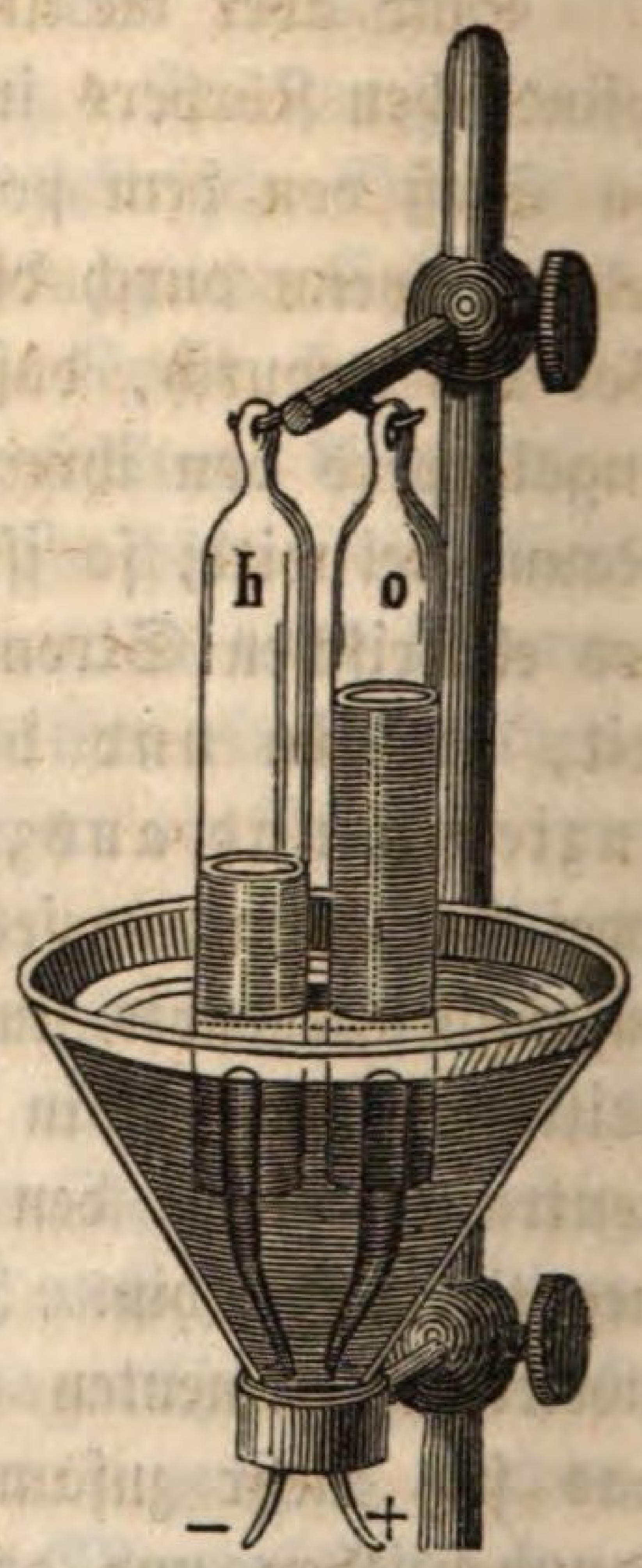
aber in dem natürlichen Magnet nie mehr in dem vorigen hohen Grade wiederhergestellt werden, — bei dem künstlichen wird er nur dann wieder möglich, wenn der Stahl neuerdings gehärtet worden ist. Man nennt die Eigenschaft des Stahles, den Magnetismus zu halten, die Coercitivkraft. Auch ein glühendes Eisen wird von einem Magnet nicht angezogen.

Wirkung des elektrischen Stromes. Wie schon Eingangs erwähnt, ist ein Körper, der sich in einem elektrischen Strom befindet, einerseits durch den positiven Pol einer auf ihn stoßenden Kraft, anderseits durch den negativen Pol einer anziehenden Kraft ausgesetzt. Sind nun die Atome des innerhalb eines elektrischen Stromes befindlichen Körpers in dem Zustand, daß sie weder durch Zusammenziehung der Atome freien Raum bieten können, den die auf ihn stoßenden Atome von Seite des positiven Poles nöthig haben, noch durch Ausdehnung den Raum einzunehmen vermögen, den die sich zusammenziehenden Atome an dem negativen Pol frei machen, so sind sie genöthigt, von ihrer Stelle zu rücken, so oft ein Anstoß von dem positiven Pol an sie gelangt, und näher an den negativen Pol hin sich zu bewegen, so oft an diesem die Anziehungskraft thätig ist. Ein solcher Körper geräth in Atomenvibration, er wird ein Leiter des elektrischen Stromes.

Sind aber die Atome eines innerhalb des elektrischen Stromes befindlichen Körpers in dem Umstande, sich zusammenzuziehen, wenn ein Stoß von dem positiven Pol an sie gelangt, und sich auszudehnen, wenn durch die sich zusammenziehenden Atome am negativen Pol und dadurch, daß die diesen näher liegenden Atome des Leitungskörpers von ihrer Stelle gegen den negativen Pol hin rücken, Raum frei wird, so ist derselbe, nämlich der in die Schließungskette des elektrischen Stromes eingeschaltete Körper in der Nothwendigkeit, zu ein und demselben Zeitmomente sich zusammenzuziehen und auszudehnen. Es werden also in einem Atome zwei sich entgegengesetzte Thätigkeiten erregt, es ist zugleich ein sich zusammenziehendes und ein sich ausdehnendes, — die frühere einheitliche Thätigkeit in einem Atome wird in eine duale verwandelt, — contraktiv gegen den positiven Pol hin und expansiv gegen den negativen Pol hin. Ist nun ein Atom eines solchen Körpers aus zweierlei Elementen oder Bestandtheilen zusammengesetzt, so wird das sich mehr zusammenziehungslustige am positiven Pol sich zusammenziehen und das mehr ausdehnungslustige am negativen Pol

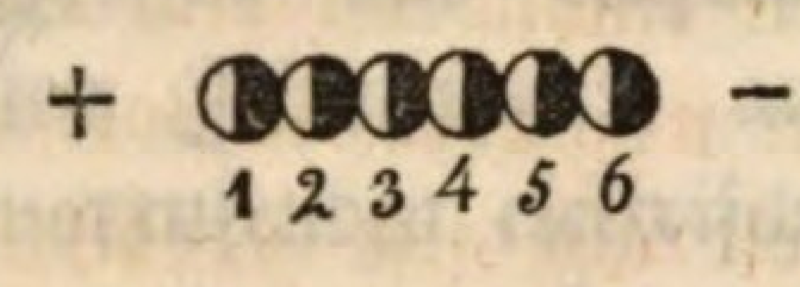
sich ausdehnen. Es ist ein Atom in ein sich zusammenziehendes und in ein sich ausdehnendes Element getheilt worden, was aber nichts anderes ist, als das Atom eines innerhalb eines elektrischen Stromes befindlichen Körpers wird in seine Bestandtheile zerlegt, — es tritt in dem Körper, der innerhalb eines elektrischen Stromes sich befindet, eine chemische Scheidung seiner Elemente ein.

Carlisle und Nicholson entdeckten im Jahre 1800 zuerst eine chemisch zersetzende Wirkung durch den galvanisch elektrischen Strom, und zwar auf das Wasser, mit dem die Pappscheiben einer Volta'schen Säule angefeuchtet waren. Der Geruch des Wasserstoffgases führte diese beiden Physiker auf die Vermuthung, daß ein solches in der Säule entwickelt werde. Nicholson kam, dadurch veranlaßt, auf den glücklichen Gedanken, den elektrischen Strom durch eine Röhre mit Wasser gehen zu lassen, indem er die beiden Poldrähte in dasselbe eintauchte und in einer kleinen Entfernung von einander hielt. Das Wasserstoffgas stieg nun in kleinen Bläschen am negativen Pole auf, während der positive aus Zink bestehende Poldraht sich oxydirte. Man vertauschte nun den Zinkdraht am positiven Pol mit einem Draht aus schwer oxydirbarem Metall, also mit Platin oder Silber, und so stieg nun auch das Sauerstoffgas in Bläschen am positiven Poldraht in die Höhe. Wurde nun auf je einen Poldraht im Wasser je eine unter Wasser mit diesem gefüllte Glasglocke gestellt, wie im nebenan abgebildeten Apparate, so konnte man in der Glasglocke, welche über den positiven Poldraht gestürzt war, Mengen von Sauerstoffgas, und in der Glasglocke über dem negativen Poldraht Mengen von Wasserstoffgas sich sammeln sehen, und zwar in dem Verhältniß, daß sich immer 2 Volumen Wasserstoffgas und 1 Volumen Sauerstoffgas entwickelten. Die Gasentwicklung ist um so lebhafter, je näher die mit breitgeschlagenen Enden versehenen Poldrähte einander sind.

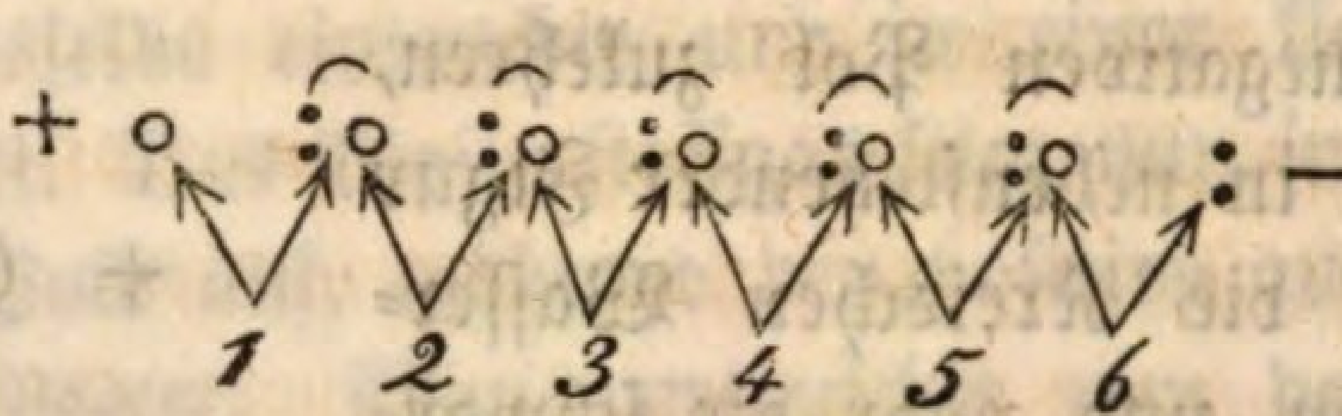


Grotthuß hat von diesem Volta'schen Wasserzersetzungsvorgang eine Erklärung abgegeben, welche jetzt von fast allen Physikern als die richtige angenommen wird. Wir geben

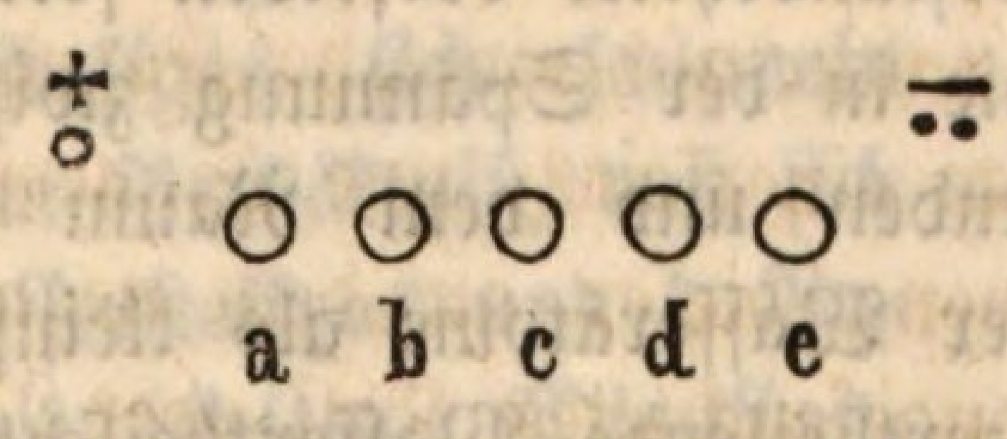
sie wieder mit der unbedeutenden unserer Theorie über Elektricität entsprechenden Modifikation. Ein Atom Wasser oder ein Molekül reinen Wassers besteht aus 1 Volumen negativ elektrischem Sauerstoffgas und aus 2 Volumen positiv elektrischem Wasserstoffgas. Befindet sich nun Wasser zwischen den beiden Polen einer galvanischen Kette, „so wird der positive Pol auf die zunächst liegenden Wassertheilchen in der Weise wirken, daß der negative Bestandtheil angezogen und dem positiven Pole zugekehrt wird, während das abgestoßene Wasserstoffatom des ersten Wassermoleküls von dem positiven Pole abgewendet ist. Das Wassertheilchen 1 wirkt aber auf das Wassertheilchen 2 in der Weise, daß es seine Elemente nach derselben Seite hin kehrt; in derselben Weise wirkt 2 auf 3 u. s. w. So kommt es denn, daß alle Wassermoleküle zwischen den beiden Polen ihr Sauerstoffatom dem positiven Pol, ihr Wasserstoffatom dem negativen Pol zukehren, ungefähr so, wie in nebenstehender Figur versinnlicht, wo die Kreischen Wassertheilchen darstellen, und zwar die schwarzen Hälften das Wasserstoffatom, die weißen Hälften das Sauerstoffatom. Wenn nun die Anziehung, welche der positive Pol auf das Sauerstoffatom des Wassertheilchens 1 ausübt, groß genug ist, so wird es gleichsam seinem Wasserstoffatom entrissen; dieses Wasserstoffatom verbindet sich wieder mit dem Sauerstoffatom des Wassertheilchens 2; der Wasserstoff von 2 verbindet sich mit dem Sauerstoff von 3 u. s. w. Auf diese Weise geht auf der ganzen Strecke zwischen beiden Polen eine beständige Zersetzung und Wiederbildung von Wasser vor sich, nur an den Polen können die Bestandtheile desselben frei werden.“ Mit andern Worten: Werden die in der Spannung zwischen den beiden Polen, dem Raum nehmenden und dem Raum gebenden, befindlichen Wassermoleküle (oder Wasseratome als kleinste, nicht mehr in zwei Wassertheile zu zertheilende Wassertheilchen) von den sich ausdehnenden und stoßenden Zinkatomen des positiven Poles zur Zusammenziehung, und zu gleicher Zeit auf der andern Seite von den sich zusammenziehenden und anziehenden Kupferatomen des negativen Poles zur Ausdehnung gezwungen, so werden die mehr zusammenziehungslustigen (negativ elektrischen) Elemente, der Sauerstoff des Wassers, bei dem ersten Stoß des positiven Poles sich zusammenziehen, während die mehr ausdehnungslustigen (positiv elektrischen)



Elemente des Wassers, der Wasserstoff, bei der ersten Raumfreigebung und Anziehung des negativen Poles sich ausdehnen. Wird nun durch den ersten Stoß von Seite des positiven Poles der Sauerstoffantheil der in der Spannung zwischen beiden Polen befindlichen Wasseratome von diesen durch Zusammenziehung, und durch den ersten Zug von Seite des negativen Poles der Wasserstoffantheil durch Ausdehnung ausgeschieden, so tritt an den beiden Polen, also an den Angrenzen der Wassermenge an das Poldrahtende der ausgeschiedene Sauerstoff des äußersten Wasseratomes zu 1 Volumen an dem positiven Poldraht aus, und an dem negativen Poldraht der Wasserstoff des entgegengesetzten äußern Wasseratomes zu 2 Volumen frei aus. Der ausgeschiedene Wasserstoffantheil des diesseits äußersten Wasseratomes Nr. 1 aber verbindet sich mit dem



Sauerstoffantheil des nächst gelegenen Wasseratomes Nr. 2 neuerdings zu Wasser, — und ebenso verbindet sich der Sauerstoffantheil des am negativen Pol angrenzenden Wasseratomes Nr. 6 mit dem Wasserstoffantheil des zunächst gelegenen Wasseratomes Nr. 5. Und so verbinden sich z. B. die beiden Volumina Wasserstoff von den Wasseratomen 2., 3., 4. mit je einem Volumen Sauerstoff der Wasseratome 3., 4. und 5. zu Wasser. Aus den z. B. sechs durch den ersten Wirkungsakt des elektrischen Stromes in ihre Ele-



mente zersetzten Wasseratomen sind alsdann 5 Wasseratome a, b, c, d, e, und 2 Volumina Wasserstoff und 1 Volumen Sauerstoff geworden.

Sofort mit jeder neuen elektrischen Strömung — denn diese ist ja, wie wir wissen, sowie die Bewegungskraft, die sie erzeugt, eine unterbrochene, intermittirende, — wird die Anzahl der in der Spannung zwischen den beiden elektrischen Polen befindlichen Wasser-

atome in ihre Elemente, Sauerstoff und Wasserstoff, zersetzt, die Elemente der an den beiden Polgrenzen befindlichen frei gemacht, isolirt gestellt, und die Elemente der übrigen zwischen den beiden Grenzatomen vereinigen sich mit einander zu neuer Wasserverbindung.

Je mehr Doppelvolumina Sauerstoff und einfache Volumina Wasserstoff durch einen elektrischen Strom entwickelt werden, desto schneller folgen sich die einzelnen Bewegungsakte — die Wellenbewegungen — des elektrischen Stromes auf einander, — und weil die Stärke der Bewegungskraft in Beziehung auf den sie bewegenden Körper in der Geschwindigkeit, mit der diese bewegt wird, besteht, und also auch die elektromagnetische Kraft einer galvanischen Batterie um so stärker ist, je mehr sie in ein und demselben Zeitmomente Vibration oder Zusammenziehungs- und Ausdehnungsbewegungen in den Atomen der von ihr betroffenen Körper veranlaßt, — so kann auch aus der Menge der durch einen elektrischen Strom entwickelten Doppelvoluminen Sauerstoffes und einfachen Voluminen Wasserstoffes in einem bestimmten Zeitmomente auch auf die Stärke des diese Wasserzersetzung hervorrufenden elektrischen Stromes geschlossen werden. Man hat daher auch in der That die Wasserzersetzung als Stromstärkemesser benützt, unter dem Namen Voltameter bekannt; — vielleicht ein sichererer Stromstärkemesser, als die zwar bequemeren hieher bezüglichen Vorrichtungen, z. B. die Tangentenbussole ꝛc., die sich auf die Ablenkung der Magnetnadel und den magnetischen Meridian gründen, weil der atmosphärisch terrestrische elektrische (erdmagnetische) Strom, der die Stellung der Magnetnadel in der Richtung von dem Aequator gegen einen Erdpol bestimmt, nicht immer gleich stark seyn kann.

Davy hat (1807) mit Hilfe der Volta'schen Säule Kali und Natron, welche bis dahin als einfache Körper, Elemente galten, in Kalium und Natrium einerseits, und Sauerstoff anderseits zerlegt; jene an dem positiven, dieser an dem negativen Pole erscheinend. Wenn man etwas angefeuchtetes Kali oder Natron auf eine Platinplatte legt, welche mit dem positiven Pol der Säule in Verbindung steht, und man von oben her das Kali oder Natron mit einem den negativen Pol bildenden Platindraht berührt, so findet anfangs eine schwache Wasserzersetzung statt, alsbald aber erscheinen an dem negativen Poldraht kleine Metallkügelchen von silberweißer Farbe und nicht zu verkennendem Metallglanz, die anfänglich flüssig scheinen wie Quecksilber und sich oft zu vergrößern scheinen. Alsbald

aber werden diese Kügelchen fest und verlieren durch die Berührung mit der Luft (dem Sauerstoff der Luft nämlich) ihren Metallglanz wieder. Wird ein solches Kügelchen von dem Drahte abgelöst und in Wasser geworfen, so brennt es mit lebhafter Flamme und unter Puffen. Es verbindet sich nämlich äußerst rasch das reine Kalium und Natrium mit dem Sauerstoff des Wassers; der Wasserstoff verbindet sich alsdann mit dem Sauerstoff der Luft und verbrennt. Gleicherweise werden Salzlösungen auf solch galvanischem Wege zersetzt. Man fülle z. B. eine Uförmig gebogene Röhre mit einer Auflösung von Glaubersalz in Wasser, die durch Malventinktur violett gefärbt ist. Taucht man nun auf der einen Seite den positiven, auf der andern den negativen Poldraht in die Flüssigkeit, so tritt Gasentwicklung an beiden Polen ein, zugleich aber wird die Flüssigkeit am positiven Pole roth, am negativen grün gefärbt. Vertauscht man nun die Pole, so stellt sich erst allmählig die ursprünglich violette Farbe wieder her, dann aber erscheint roth da, wo vor der Vertauschung der Drähte blau war, und umgekehrt. Es hat sich, nachdem zuerst an dem positiven Poldraht Sauerstoffgas und an dem negativen Poldraht Wasserstoffgas entwickelt worden und entwichen ist, in der einen Hälfte der Röhre, in welche der positive Poldraht eingetaucht war, die Säure, welche den Malvensaft roth färbt, und in der andern Hälfte der Röhre, in welche das negative Poldrahtende eingetaucht war, die Basis des Salzes, welches den Malvensaft grün färbt, entwickelt und angesammelt.



Der Zersetzungsproceß von diesen und allen andern Stoffen mittels des elektrischen Stromes ist derselbe, wie bei der von Grothhuß erklärten Wasserzersetzung. An den beiden Poldrähten werden nämlich die zweierlei Bestandtheile des Stoffes frei und erscheinen auf der Oberfläche, — nämlich an dem positiven Poldraht die zusammenziehungslustigen, negativ elektrischen Bestandtheile des Stoffes (Sauerstoff und Säure), und an dem negativen Poldraht die ausdehnungslustigen, positiv elektrischen Bestandtheile des Stoffes (Kalium oder Natrium und die Salzbasis). Die während eines Strömungsaktes von einander geschiedenen Bestandtheile der zwischen den beiden an den äußersten Enden liegenden Stoffatome aber verbinden sich wieder mit einander zu einem Atome

derselben Beschaffenheit wie die, aus welchen sie sich getrennt haben. Einen thatsächlichen Beweis liefert hiefür, nämlich für die Vereinigung der verschiedenen Bestandtheile zweier durch den elektrischen Strom zersetzten Atome, folgender Vorgang: Wenn man nämlich in das eine A von zwei Gefäßen, welche mit einander durch Flüssigkeit leitende Körper, z. B. feines Asbestgewebe oder durch einen Heber verbunden sind, die basische Lösung eines Salzes, und in das andere Gefäß B die Säure gießt, alsdann in das Gefäß A mit der Basis den positiven Poldraht und in das Gefäß B mit der Säure den negativen Poldraht taucht, so findet sich zuletzt die Säure in dem Gefäß A mit dem positiven Poldraht, und die basische Lösung in dem Gefäß B mit dem negativen Poldraht. Auf daß die Säure zu dem positiven Poldraht in das Gefäß A gelangen konnte, ist vor allem nöthig, daß die Säure mit der Basis zu einem Salz sich verbunden, wornach erst aus der Salzlösung sich an der positiven Grenze Säure, und an der negativen Grenze sich die Salzbasis entwickeln und frei werden konnte.

Eine besondere Bedingung der ergiebigen Zersetzung von Stoffen durch einen elektrischen Strom ist, daß der Stoff in flüssigem oder leicht flüssig werdendem Zustand sich befindet, weil die Atome, deren zersetzte Bestandtheile an den beiden Polen zum Vorschein kommen sollen, frei beweglich seyn müssen, um allmählig an die äußerste Grenze an den Poldrähten gelangen zu können. So werden Metallsalze, z. B. Chlormetall, im geschmolzenen, also flüssigen Zustande auf galvanischem Wege zersetzt. (Elektrolyse ist von Faraday die Zersetzung der Stoffe auf galvanischem Wege genannt worden, — den der Zersetzung unterworfenen Stoff heißt er Elektrolyt, — die beiden Polplatten nannte er Elektroden, Wege nämlich, auf welchen der Strom in den Elektrolyten ein- und austritt, und zwar ist der positive Pol die Anode, der negative die Kathode. Die Bestandtheile des Elektrolyten heißen Jonen, und zwar ist das Kation das positive, das Anion das negative Element.)

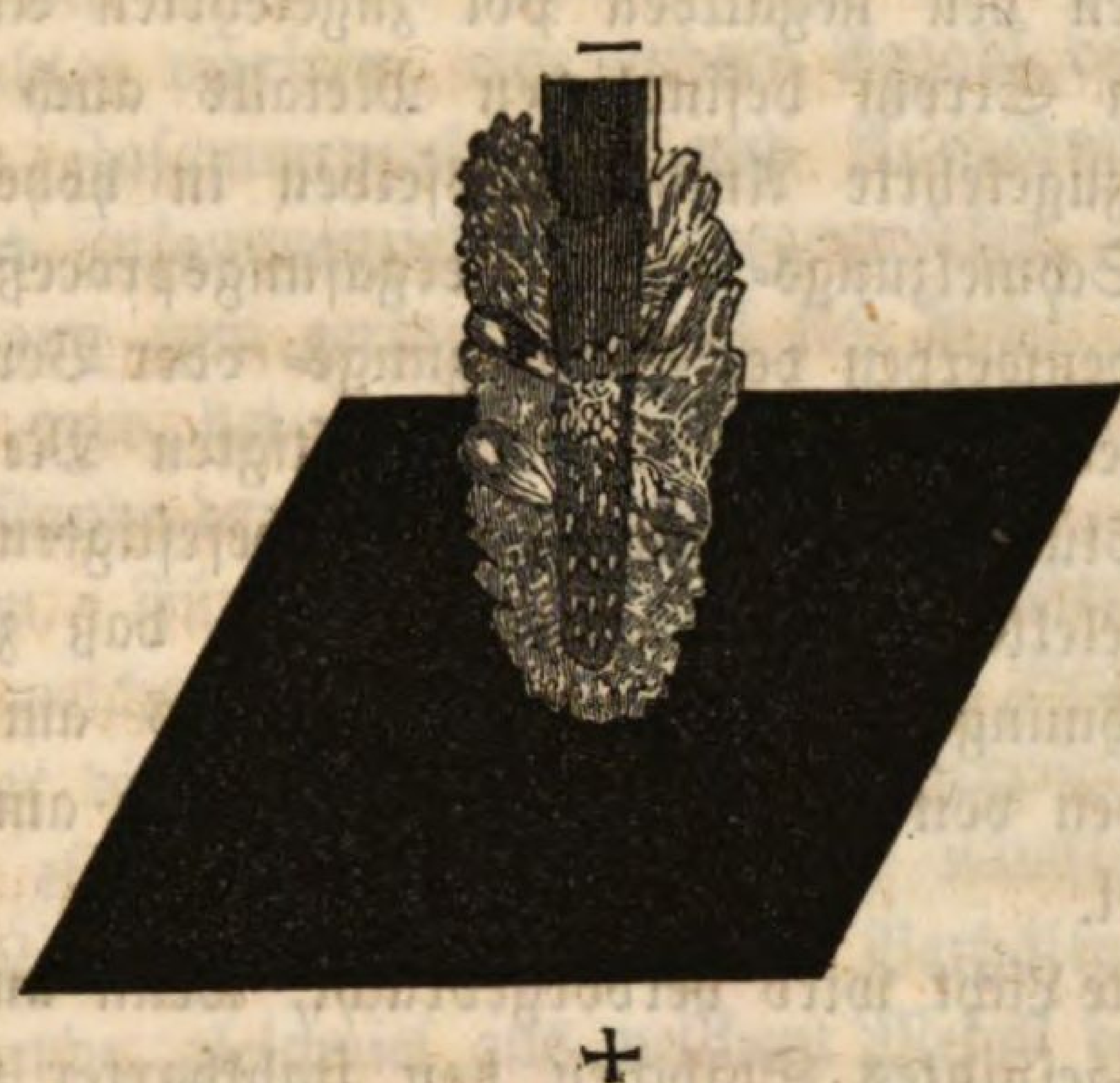
Die Zersetzung der Metalllösungen durch den galvanischen Strom wird auch in der Kunst benützt, nämlich in der von Jacobi und Spencer eingeführten Galvanoplastik. Formen plastischer Gegenstände werden, als negative Polplatten benützt, in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol gelegt, in welche der positive Poldraht der galvanischen Batterie jener gegenüber getaucht wird,

worauf sich allmählig durch die Zersetzung des Kupfervitriols das metallische Kupfer auf der negativen Polplatte, der Form nämlich, ablagert, — welches alsdann, herausgenommen aus der Kupfervitriollösung, von der Form sich abheben läßt.

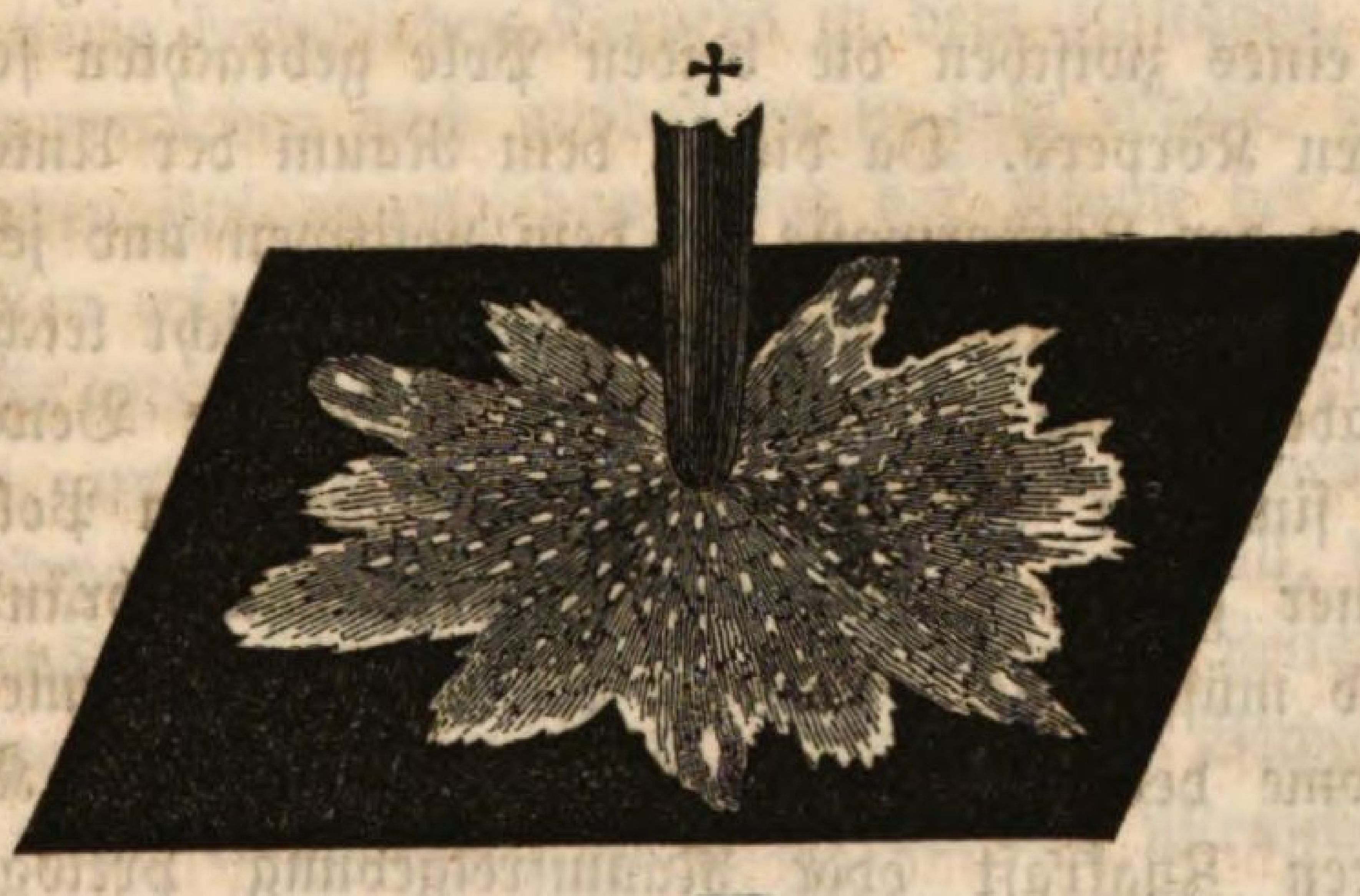
Kobell hat ein Verfahren angegeben, um für die Vervielfältigung von in Tuschmanier gemalten Bildern Kupferplatten, zum Abdrucke tauglich, durch Galvanoplastik zu erzeugen. Auf eine übersilberte Kupferplatte malt man nämlich mit einer Farbe, welche durch Reibung von Ocker oder Coaks mit einer Auflösung von Wachs und Terpentinöl bereitet wird, und der etwas Dammara-Firniß zugesetzt ist, in der Weise, daß die hellsten Lichter des Bildes frei bleiben, und die Farbe um so dicker aufgetragen wird, je dunkler der Schatten seyn soll. Sobald das Bild fertig ist, wird es mit Hilfe eines zarten Pinsels mit fein gepulvertem Graphit überzogen und dann in die Kupfervitriollösung des galvanoplastischen Apparats eingesetzt. Allmälig schlägt sich das Kupfer auf die gemalte Platte nieder und bildet abgehoben eine zweite Kupferplatte, auf welcher alle Lichtpartieen der ersteren eben, die Schattenpartieen aber vertieft sind, so daß diese zweite Platte sich zum Abdruck, wie eine Kupferplatte eignet, und unvergleichlich billiger zu stehen kommt und geringere Zeit nöthig hat.

Kann ein zwischen die beiden Polende eines galvanischen Stromes gebrachter Körper nicht in seine Bestandtheile so zersetzt werden, daß diese einzeln zum Vorschein kommen, entweder weil er nicht flüssig oder weil er ein einfacher Stoff (Element) ist, so werden die dem positiven Pol zugekehrten Atome desselben in vermehrte Zusammenziehungsthätigkeit, und die dem negativen Pol zugekehrten Atome in erhöhten Ausdehnungszustand versetzt. Wir können sagen, die Atome eines nicht in seine Bestandtheile zersetzbaren Körpers werden an dem positiven Pol kalt, an dem negativen Pol erwärmt. Die Erscheinungen am letztern sind sehr auffallend, dünne Metalldrähte werden so ausgedehnt, erwärmt, daß sie glühend werden und schmelzen, und endlich in Gasflammen sich verwandeln, und Kohle verbrennt. Daß die erhöhte Ausdehnung der Atome solcher fester Körper, ihre Erwärmung, Schmelzung, Vergasung und Verbrennung wirklich am negativen Pol stattfindet, hat Neef durch Betrachtung des an einem zwischen den beiden Polen befindlichen Körper stattfindenden Lichtphänomenes mittels des Mikroskopes entdeckt. Es ist mit dem Draht des einen Poles eine Spitze

von Platin, und an das andere Polende eine Platinplatte befestigt. Geht nun der elektrische Strom von der Platinplatte zu der Platinspitze, d. h. ist jene mit dem positiven Pole, diese mit dem negativen Pole verbunden, so ist eine Lichterscheinung, also eine Platingasflamme an der Platin*spitze* zu sehen; — geht aber der elek-



trische Strom von der Platinspitze zur Platinplatte, d. h. ist jene mit dem positiven, diese mit dem negativen Pol in Verbindung, so ist die Lichterscheinung, Platingasflamme, an der Platin*platte* wahrzunehmen.



Sind zwei Kohlenspitzen an den beiden Polen befestigt, so verursachen sie durch ihre Verbrennung mittels des galvanischen Stromes ein solches starkes Licht, daß es dem Sonnenlichte gleich kömmt. Je leichter schmelzbar ein Metall ist, desto schneller wird die Lichterscheinung wahrnehmbar. Wenn an je einen der beiden

Pole je ein verschiedenes Metall befestigt wird, so schmelzen sie ebenfalls unter Flammenerscheinung. Es ist aber hiebei zu bemerken, daß immer auf der Metallspitze des negativen Poles Staub des Metalls am positiven Pol abgelagert gefunden wird. Es wird nämlich durch die Erwärmung, das Erhitzen, Schmelzen und Vergasen des gegen den negativen Pol zugekehrten Antheiles des in dem elektrischen Strom befindlichen Metalls auch der gegen den positiven Pol zugekehrte Antheil desselben in höhere Temperatur und in den Schmelzungs- und Vergasungsproceß hineingeführt. Das Aufgefundenwerden der Schmelzungs- oder Verbrennungsreste, des Staubes des am positiven Pol befestigten Metalles auf dem noch übrigen Stück des am negativen Pol befestigten Metalles nach Aufhören des elektrischen Stromes zeigt an, daß zum Zwecke der höchsten Ausdehnung die Atome des Metalles am positiven Pol angezogen wurden von dem negativen Pol, denn am negativen Pol wird Raum frei.

Das stärkste Licht wird hervorgebracht, wenn an den negativen Pol ein fein zugespitztes Stäbchen von stahlharter Kohle, und an den positiven Pol ein stumpf endendes Kohlenstäbchen befestigt ist. Das Zuspitzen der Kohle ist von Vortheil, weil an der Spitze die Cohäsionskraft weniger dem Ausdehnungsstreben entgegenwirkt als an den Stellen, wo größere Kohlenmasse angehäuft ist. Derselbe Grund gilt auch für den Vortheil der Unterbrechung des Zusammenhanges eines zwischen die beiden Pole gebrachten schmelz- oder verbrennbaren Körpers. Da die in dem Raum der Unterbrechungsstelle zwischen der Körpermasse an dem positiven und jener an dem negativen Pol befindliche atmosphärische Luft nicht leicht und nicht in dem Grade als die Metallatome die elektrische Bewegung fortpflanzt, so sind die Atome des an den positiven Pol befestigten Körpers einer größeren Stoßkraft oder Raumbeschränkung unterworfen, und müssen sich, statt zu schwingen, zusammenziehen, — und die Atome des an den negativen Pol befestigten Körpers sind einer höheren Zugkraft oder Raumfreigebung preisgegeben und müssen, statt zu schwingen, sich ausdehnen. Letztere schmelzen oder verbrennen daher. Dünne Metalldrähte zwar haben keine Unterbrechung ihres Zusammenhanges von nöthen, um in den Schmelz-

Anmerkung. Ein sehr dünner Eisendraht, zwischen die, zwei verschiedenen Polen angehörigen Enden eines dicken Leitungsdrahtes befestigt, wird zum Anzünden von Pulver zum Zwecke des Sprengens von Felsen oder Minen angewandt.

ungszustand zu gelangen. Jedoch hat bei gleicher Stromstärke ein dickerer Draht eine längere Zeit, eine Anzahl von Sekunden von nöthen, bis er zum Glühen kommt, als ein dünner Draht. Uebrigens werden metallene Leitungsdrähte mehr oder weniger, auch während sie den elektrischen Strom fortleiten, in höhere Temperatur versetzt. Man muß annehmen, entweder daß eine Anzahl der Atome des Leitungsdrahtes vibriren, eine andere Anzahl derselben der auf sie einwirkenden Zusammenziehungs- und Ausdehnungskraft durch Ausdehnung und Zusammenziehung entgegenwirken, — oder daß die sämmtlichen Atome zum geringern Theil sich hiebei zusammenziehen und ausdehnen und bei ihrem geringen Zusammenziehungs- und Ausdehnungszustand denn doch vibriren und so den elektrischen Strom fortleiten. Für die Wahrscheinlichkeit dieser Ansicht spricht das Resultat, welches sich aus vielen genauen Versuchen und Beobachtungen über die Wärmeentwicklung verschiedener Leitungsdrähte während eines elektrischen Stromes ergab, nämlich daß die Erwärmung des Leitungsdrahtes in geradem Verhältniß steht zu dem Leitungswiderstande, gleichviel aus welchem Metall der Leitungsdraht verfertigt war, d. h. je weniger die Atome eines Leitungsdrahtes vibriren, d. i. leiten, desto mehr sind sie der Zusammenziehung oder Ausdehnung unterworfen, d. i. sie verändern ihre Temperatur, und diejenige der sie umgebenden Medien, z. B. Weingeist.

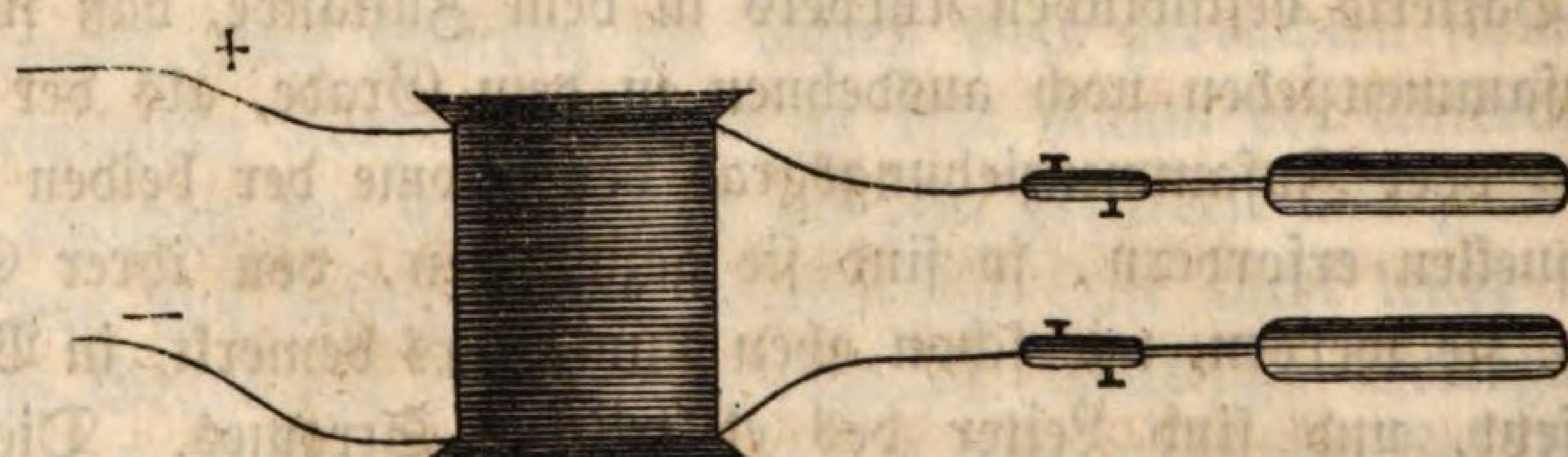
Sind die Atome eines zwischen den beiden Polen einer elektrischen Batterie befindlichen Körpers in dem Zustande, daß sie sich weder zusammenziehen noch ausdehnen in dem Grade, als der Ausdehnungs- oder Zusammenziehungsgrad der Atome der beiden Elektricitätsquellen erfordern, so sind sie gezwungen, von ihrer Stelle zu rücken, sie werden, wie schon oben und öfters bemerkt, in Vibration versetzt, und sind Leiter des elektrischen Stromes. Dieß ist bei allen Körpern in einer galvanischen Kette der Fall, deren Atome die oben erwähnte Eigenschaft haben. Hätten die Leiter eines elektrischen Stromes Empfindung, so würden sie die Bewegung, in die sie versetzt sind, empfinden. Dieß ist bei den Menschen der Fall, wenn deren Leib ein elektrischer Strom durchzieht, der Leib ein Glied einer elektrischen Kette bildet. Schon Volta spricht von einem eigenthümlichen Gefühl, welches man nach dem Schließen einer Zinksilbersäule von 100 und mehr Plattenpaaren empfindet. An verwundeten Hautstellen wird sogar im Kreise der einfachen Kette ein heftig stechender, brennender Schmerz verspürt. Ritter

hat mittels der einfachen Kette während der Stromdauer Lichtwirkungen im Auge beobachtet. Wenn man den Strom einer Säule von 30 bis 40 Plattenpaaren mittels metallener Sonden in die Ohren einführt, so beobachtet man ein fortgesetztes Geräusch, — und der Strom auf die Zunge geleitet, erregt eine eigenthümliche Geschmacksempfindung.

Doch die stärkste Empfindung, den elektrischen Schlag, eine kräftige Erschütterung unseres ganzen oder eines Theiles unseres Körpers, wenn dieser in dem Kreis eines elektrischen Stromes, zwischen den zwei Polen sich befindet, haben wir im Momente des Schließens der Kette, also im Momente des Beginnens des elektrischen Stromes, und bei dem Oeffnen der Kette, also unmittelbar nach dem Aufhören des elektrischen Stromes.

Schließt man nun eine Volta'sche Säule von nicht übermäßig vielen Plattenpaaren durch den menschlichen Körper, indem man jeden der Pole der Säule mit einer Hand berührt, so empfindet man einen Schlag, — während des fortdauernd durch den Körper gehenden Stromes hat man eine kaum merkliche Empfindung, — hingegen in dem Moment, in welchem man die Kette öffnet, empfindet man einen zweiten Schlag.

Ergreift man das Ende des Nebendrahtes eines Induktionsapparates mit der einen, — das andere Ende desselben mit der



andern Hand, so empfindet man ebenfalls bei dem Schließen der Kette, also in dem Moment des Eintritts des galvanisch elektrischen Stromes in den Hauptdraht einen heftigen Schlag, — während der Andauer des elektrischen Stromes hat man keine merkliche Empfindung, — hingegen empfindet man bei dem Oeffnen der galvanischen Kette, also unmittelbar nach dem Aufhören des elektrischen Stromes, einen zweiten Schlag.

Berührt man den äußern Staniolbeleg einer geladenen Leidner'schen Flasche mit der einen, — und den mit der innern Staniol-

belegung in leitender Verbindung stehenden Knopf derselben mit der andern Hand, so empfindet man ebenfalls einen heftigen elektrischen Schlag.

Wir haben oben den Grund der Induktionsströme bei dem Schließen der galvanischen Kette in dem Angezogenwerden der Atome des Nebendrahtes von dem in Atomenvibration begriffenen Hauptdrahte, und bei dem Oeffnen der Kette in dem Rücktritte, der Befreiung aus der Spannung, in welcher der Nebendraht durch das Angezogenseyn seiner Atome von dem Hauptdrahte während des Stromes verharren mußte, gesucht, — wir sind nun an dem, die Wirkung der Kraft, welche in unserem Leib die Empfindung des elektrischen Schlages hervorbringt, ebenfalls in dem Angezogenwerden der Atome unseres Leibes von den in elektrischer Atomenvibration sich befindenden Körpern, als da sind der Leitungskörper einer galvanischen Batterie, mittels des Nebendrahtes eines Induktionsapparates der Hauptdraht und die Staniolbewegung einer Leidnerschen Flasche. Bei dem Induktionsapparat bildet der menschliche Leib einen Theil mit dem Nebendraht, auf welchen der elektrische Strom des Hauptdrahtes eine Anziehung ausübt. Ist der menschliche Leib aber zwischen die beiden Pole einer galvanischen Kette selbst eingeschaltet, so bildet er selbst mit einem Theil seiner Atome oder organischen Zellen ein Leitungsorgan des galvanischen Stromes, zu welchem sich der andere Theil seiner Atome wie der Nebendraht eines Induktionsapparats zu dessen Hauptdraht verhält. Der eine Theil seiner Atome, welche die Leitung des galvanischen Stromes besorgen, verursacht keine merkliche Empfindung, hingegen der andere Theil der Atome, welche von den den elektrischen Strom leitenden Atomen angezogen und gespannt werden, verursacht das Gefühl der Erschütterung, des elektrischen Schlages. Dasselbe ist auch der Fall, wenn der menschliche Leib die äußere Staniolbelegung einer geladenen Leidner'schen Flasche mit der innern in Verbindung, oder den Conduktor einer Reibelektrisirmaschine zur Entladung bringt. Ein Theil seiner Atome dient zur Leitung des elektrischen Stromes, auf den andern Theil seiner Atome wirkt jener so zu sagen inducirend ein, wie der elektrische Hauptstrom auf den Nebendraht eines Induktionsapparates.

Der elektrische Schlag ist um so größer, je größer die Anzahl der Atome ist, welche von dem Leitungskörper angezogen wurden, in Spannung erhalten und aus dieser wieder befreit werden, —

und je größer die Geschwindigkeit ist, mit welcher die Atome des Leitungskörpers sich schwingend bewegen. Je größer daher die Flächen Staniol, mit denen die Leidner'schen Flaschen belegt sind, und je länger der Nebendraht eines Induktionsapparates, desto stärker der elektrische Schlag, den der Mensch bei der Einschaltung seines Körpers in den Kreis der Atome jener empfindet. Der elektrische Schlag, den der Mensch bei der gleichzeitlichen Berührung der beiden Pole empfindet, ist daher geringer, weil die Anzahl der in der Induktionsbewegung befindlichen Atome eine kleinere ist, eigentlich nur aus Atomen seines Leibes besteht.

Marianini hat zuerst auf die große Aehnlichkeit der Nervenerregung mit der Induktion aufmerksam gemacht. In der That kann man den Nervenapparat mit einem elektrischen vergleichen, welcher während der Stromerzeugung auf das Muskelsystem inducirend einwirkt und für die Muskelatome Anziehungspunkte abgibt, die Muskel in Spannung bringt, und bei dem Aufhören des Nervenstromes sie wieder aus der Spannung losläßt. Eine ähnliche Erscheinung der Muskelthätigkeit kann auch nach dem Tode an einem mit blosgelegten Nerven präparirten Muskel eines Thieres, am besten eines Froschschenkels hervorgebracht werden. Läßt man nämlich einen elektrischen Strom durch einen also präparirten Froschschenkel gehen, so zuckt dieser sowol bei dem Schließen der galvanischen Kette, als bei dem Oeffnen derselben. Hängt man ein Froschschenkelpaar so auf, daß die beiden Füße in Gefäße mit etwas säuerlichem Wasser getaucht sind, mit welchem die Pole einer galvanischen Kette in Verbindung gebracht werden, so entstehen, ist der Froschschenkel noch frisch, sowol bei dem Beginne als bei dem Aufhören des elektrischen Stromes lebhafte Zuckungen in beiden Schenkeln, — ist das Präparat nicht mehr frisch, so entsteht bei dem Beginne des Stromes nur an dem einen Froschschenkel deutliche Zuckung, an jenem nämlich, durch dessen Nerven der Strom den Verlauf von seiner centralen Ursprungsstelle nach seiner peripherischen Verästelung nimmt, — und bei dem Oeffnen der Kette nur an dem Froschschenkel, in welchem der Strom die entgegengesetzte Richtung, nämlich von dem peripherischen Zehenende zu seiner centralen Ursprungsstelle genommen hatte. Ist das Froschschenkelpräparat noch frisch, so ist sowol die Zusammenziehungsfähigkeit der Muskel, als auch die Leitungsfähigkeit der Nerven eine größere, als bei dem nicht mehr so frischen Zustande (denn bei dem Ein-

tritte der Verwesung ist keine Reaktion des Froschschenkels gegen den elektrischen Strom mehr wahrnehmbar). Nun geht der natürliche (zu gewissem Grad noch vorhandene) Nervenstrom behufs der Muskelbewegung von dem Centrum nach der Peripherie; — haben der thierische Nervenstrom und der galvanisch elektrische Strom ein und dieselbe oder beinahe ein und dieselbe Richtung, so verstärken sie sich durch einander, und dieß ist der Fall auf jenem Froschschenkel, durch den der elektrische Strom von dem Nervenstrom nach dessen Verzweigungen geht, — dieser zuckt daher bei dem Schließen der Kette, während an dem andern Schenkel der elektrische Strom entgegen oder beinahe entgegen geht dem natürlichen Nervenstrom, — und hier wird die Zuckung unmerklicher.

In der Einleitung wurde die Meinung ausgesprochen, daß die Physik als die Lehre von den Erscheinungen in der Natur definirt werden könnte. Wir haben in unsern Anfangsgründen der Physik gesehen, daß die Grundsätze der Mechanik (Statik und Dynamik), — der Hydraulik (Hydrostatik und Hydrodynamik), — der Aerostatik und Aerodynamik, — der Akustik, — der Optik, — der Wärmelehre und der Lehren von der Elektricität und dem Magnetismus auf Bewegung beruhen. Wir haben gezeigt, daß die sogenannten Imponderabilien, besser genannt die physikalischen, Natur-, oder Bewegungskräfte, nicht, wie bisher angenommen wurde und wird, auf der Bewegung von hypothetischen Stoffen, Aether und Fluiden, sondern auf der Bewegung der Atome oder der kleinsten

Anmerkung. Das physikalische Atom ist zu unterscheiden von dem mathematischen Atom. Letzteres ist ein im unendlichen Raum unendlich theilbares, — das physikalische Atom, auch Moleküle uneigentlich genannt, ist ein endlich getheiltes nicht weiter mehr theilbares, schon einen bestimmten Theil im unendlichen Raum ausfüllendes, ein relativ kleinstes Theilchen eines Körpers, selbst ein Körperchen. Ein Atom Wasser ist ein Wassertheilchen, welches, würde es nochmal zertheilt werden, nicht mehr Wasser ist. Ein Atom Wasser ist aber denn doch wieder zertheilbar, weil Wasser aus einer bestimmten Anzahl Sauerstoff- und einer bestimmten Anzahl Wasserstoffatomen besteht. Ein Atom Wasser besteht also auch aus einer bestimmten Anzahl Sauerstoff- und einer bestimmten Anzahl Wasserstoffatomen. Ein Atom Sauerstoff oder ein Atom Wasserstoff, insoferne diese Elemente oder einfache Stoffe sind, wären nicht mehr theilbar.

Theile (Moleküle) der Körper selbst beruhen. Wir haben weiter darzuthun gesucht, daß alle Bewegungskräfte in der Körperwelt in Ausdehnung und Zusammenziehung der Körpersatome ihren Grund haben, — daß die Ursache der gegenseitigen Anziehung sowol der Erd- als der Himmelskörper die Zusammenziehung der Körpersatome sey, wohin die Schwer-, die Cohäsions- und die Adhäsions-, die elektrische und magnetische Anziehungskraft gehören, — ferners daß die Ursache der gegenseitigen Abstoßung die Ausdehnung der Körpersatome sey, wohin die Stoßkraft oder Ausstrahlung der leuchtenden und der positiv elektrischen Körper zu rechnen ist. Wir haben klar zu machen gesucht, daß die Körper mit sich ausdehnenden Atomen die selbst warmen, Körper mit sich zusammenziehenden Atomen die selbst kalten sind, und daß die Erwärmung eines Körpers in der Ausdehnung seiner Atome besteht, welche durch die Raumfreigebung von Körpern mit sich zusammenziehenden Atomen ermöglicht wird, — und daß die Erkaltung eines Körpers in der Zusammenziehung seiner Atome besteht, welche durch die Raumeinnahme von Körpern mit sich ausdehnenden Atomen hervorgebracht wird. Wir haben, in das Gebiet der Chemie schweifend, die Ansicht aufgestellt, daß die chemische Scheidung entweder in der gleichzeitigen Ausdehnung oder in der gleichzeitigen Zusammenziehung der einzelnen Atome der Elemente eines Körpers, — und daß die chemische Verbindung in der Ausdehnung der Atome des einen Elementes oder der einen Elemente, und in der gleichzeitigen Zusammenziehung der Atome des andern Elementes oder der andern Elemente ihren Grund haben. Wir haben endlich klar zu machen gesucht, daß ein elektrischer Strom, dessen Geschwindigkeit größer ist als die des Fallens eines Körpers oder der Lichtfortleitung, hervorgerufen wird durch die Atomenausdehnungs- oder Abstoßungskraft der einen, positiv elektrischen Körper, und durch die Atomenzusammenziehungs- oder Anziehungskraft der andern, negativ elektrischen Körper, zwischen welchen beiden auf verschiedene Weise thätigen Körpern ein dritter oder dritte Körper sich befinden, deren Atome eben in einem Zustande sind, daß sie sich weder ausdehnen noch zusammenziehen. Wir haben somit den Weg gezeigt, auf welchem die Einheit und der allgemeine Grund der verschiedenen Bewegungen oder Naturkräfte aufzusuchen ist, ein Streben, welches sich der geniale Faraday auf experimentellem Weg längst angelegen seyn ließ.

Zuletzt, um einen etwaigen Verdacht des Materialismus von

uns abzuwenden, mit dem man uns wegen unserer Aeußerung pag. 2, daß die bewegende Kraft in den Körpern selbst, die Kraft also in der Materie liege, belasten könnte, sehen wir uns bemüßigt, folgende unsere Ansicht, welche zwar nicht in die Physik gehört, darzulegen:

Spüren wir der Ursache der Bewegung der Körper und ihrer Theile nach, so finden wir immer als den Grund der Bewegung des einen Körpers eine Anziehung oder Abstoßung, eine Atomenzusammenziehung oder Ausdehnung wieder eines andern Körpers. Dasselbe Resultat ergibt sich bei der Forschung ins Unendliche. Als Grund aber, daß die Materie, jeder Körper oder jedes Körpertheilchen Bewegungskraft in sich habe, ist anzunehmen, daß das Raumerfüllende, die Materie, die Körper und Körpertheilchen ihren Ursprung, ihre Entstehung haben in dem Raumlosen, des Raumes nicht bedürfenden, in der Bewegung überhaupt, in dem Geiste (von gehen, sowie spiritus von spirare hauchen, auch eine Bewegung) überhaupt, in dem unendlichen ewigen Geiste; — der Stoff entsteht aus der Kraft, der Körper aus dem Geiste, — nicht die Kraft aus dem Stoff, nicht der Geist aus dem Körper. Man kann die Materie als das es selbst seyn wollende posterius, und nicht zugleich sein prius seyn wollende definiren. Die Form des es selbst seyn Wollenden aber, was kann es anders seyn, als ein sich in sich Zusammenziehendes, — nicht sich ausdehnen Wollendes? Die Zusammenziehung ist so eigentlich recht die Bewegung der Materie, die Bewegung des Unkörperlichen zum Körperlichwerden, die Bewegung des Körperlichen, — um noch körperlicher, materieller zu werden. Im entgegengesetzten Sinne wirkt die Ausdehnung, — ein sich ausdehnendes will nicht es allein selbst seyn, will ein anderes oder zugleich auch ein anderes als es selbst seyn.

Anhang.

Uebersicht

des specifischen Gewichtes mehrerer Körper.

Anmerkung. Das Gewicht eines Körpers, des Raum erfüllenden, wird nach einem bestimmten Maaß seines Umfanges, nämlich seiner Länge, Breite und Höhe oder Tiefe, bestimmt. Das Maaß, welches sich die Wissenschaft zur Zeit bedient, ist das französische Decimalmaaß. Den Maaßstab gibt der zehntmillionteste Theil der Länge der Entfernung des Aequators von einem Pole der Erde ab, — Meter genannt (gleichbedeutend mit der verschieden langen Elle oder Ruthe anderer Länder). Das Meter wird eingetheilt in 10 Decimeter, 100 Centimeter und 1000 Millimeter. 1000 Meter = 1 Kilometer = 10 Hectometer = 100 Decameter. 4 Kilometer = 1 lieue de poste = 12745 Pariser Fuß. 1 Pariser Fuß = 144 Pariser Linien = 324,8294 Millimeter. Die Einheit des französischen Cubik- oder Hohlmaaßes ist 1 Litre = 1000 Cubikcentimeter = 50,412416 Pariser Cubikzollen. 100 Litres = 1 Hectoliter. Das Gewicht von einem Litre Wasser von 4° C. Temperatur, in welcher es am schwersten ist, wird Kilogramm genannt und ist = 10 Hectogrammen = 100 Decagrammen = 1000 Grammen. 1 Gramme ist das Gewicht von 1 Cubikcentimeter Wasser = 10 Decigrammen = 100 Centigrammen = 1000 Milligrammen.

1 gleiches Cubikmaaß				
des festen Körpers	des flüssigen Körpers	des luftförmigen Körpers	wiegt im Vergleich zu Wasser =1.	wiegt im Vergleich zu Luft =1.
Platin, schmiedbares	—	—	21,450	—
Gold, gehämmertes	—	—	19,362	—
„ gegossenes	—	—	19,258	—
Wolfram . . .	—	—	17,300	—
Iridium . . .	—	—	15,863	—
Quecksilber, gefrornes	—	—	15,612	—
	Quecksilber bei 0°	—	13,598	—
Palladium . .	—	—	12,000	—
Blei, gepreßt .	—	—	11,388	—
„ gegossen .	—	—	11,352	—
Rhodium . . .	—	—	11,000	—
Silber, gehämmertes	—	—	10,511	—
„ gegossenes	—	—	10,477	—
Osmium . . .	—	—	10,000	—
Wismuth . . .	—	—	9,822	—
Kupfer, gehämmert	—	—	8,878	—
„ gegossen	—	—	8,788	—
Molybdän . .	—	—	8,625	—
Kobalt . . .	—	—	8,513	—
Nickel	—	—	8,77	—
Eisen (Gußstahl)	—	—	7,919	—
„ ungehärt. Stahl	—	—	7,833	—
„ gehärteter Stahl	—	—	7,816	—
„ geschmiedetes	—	—	7,788	—
„ Roh-	—	—	7,207	—
Zinn	—	—	7,291	—
Zink	—	—	7,191	—
Antimon . . .	—	—	6,640	—
Tellur	—	—	6,258	—
Chrom . . .	—	—	5,900	—
Arsenik . . .	—	—	5,672	—
Titan	—	—	5,280	—
Jod	—	—	4,948	—
Barium . . .	—	—	4,732	—
Schwerspath . .	—	—	4,560	—
Selen	—	—	4,300	—
Saphir . . .	—	—	3,900	—
Topas	—	—	3,6	—
Diamant . . .	—	—	3,555	—
Basalt . . .	—	—	3,310	—
	Brom . . .	—	3,300	—
Flintglas . . .		—	2,990	—

1 gleiches Cubikmaaß				
des festen Körpers	des flüssigen Körpers	des luftförmigen Körpers	wiegt im Vergleich zu Wasser = 1.	wiegt im Vergleich zu Luft = 1.
Buchenholzasche .	—	—	2,85	—
Smaragd . . .	—	—	2,800	—
Lava	—	—	2,800	—
Marmor . . .	—	—	2,800	—
Kalkstein . . .	—	—	2,700	—
Quarz	—	—	2,652	—
Kieselstein . . .	—	—	2,63	—
Glas, Krystall- .	—	—	2,892	—
„ grünes .	—	—	2,811	—
„ Fenster- .	—	—	2,642	—
„ Spiegel- .	—	—	2,560	—
Glimmer . . .	—	—	2,654	—
Granit . . .	—	—	2,540	—
Graphit . . .	—	—	2,410	—
Steinsalz . . .	—	—	2,410	—
Bimssteinpulver .	—	—	2,150	—
	Schwefelsäure c.	—	1,850	—
Elfenbein . . .	—	—	1,825	—
Kreide	—	—	1,800	—
Anthracit . . .	—	—	1,800	—
Phosphor . . .	—	—	1,770	—
Pech, weißes . .	—	—	1,770	—
Zucker, weißer .	—	—	1,606	—
Stärkemehl . .	—	—	1,56	—
Seide	—	—	1,56	—
	Salpetersäure (79,7 pc)	—	1,500	—
Holzfaser . . .	—	—	1,500	—
Steinkohle . .	—	—	1,500	—
Flachs . . .	—	—	1,45	—
Braunkohle . .	—	—	1,400	—
Waitzen . . .	—	—	1,346	—
Quajak . . .	—	—	1,342	—
Baumwolle . .	—	—	1,27	—
Pockholz . . .	—	—	1,263	—
Ebenholz, grünes	—	—	1,210	—
	Salpetersäure (39,675 pc)	—	1,200	—
„ schwarzes	—	—	1,187	—
Asphalt . . .	—	—	1,100	—
Bernstein . . .	—	—	1,075	—
	Wein . . .	—	1,050	—

1 gleiches Cubikmaaß				
des festen Körpers	des flüssigen Körpers	des luftförmigen Körpers	wiegt im Vergleich zu Wasser =1.	wiegt im Vergleich zu Luft =1.
	Meerwasser .	—	1,027	—
	Wasser . .	—	1,00	1000
Campher . . .	—	—	0,986	—
Natrium . . .	—	—	0,972	—
Wachs. . . .	—	—	0,969	--
Wallrath . . .	—	—	0,943	—
Talg	—	—	0,942	—
Butter . . .	—	—	0,942	—
Buxbaumholz . .	—	—	0,942	—
	Leinöl . . .	—	0,940	—
Cautschouc . .	—	—	0,934	—
	Mohnöl . .	—	0,929	—
Eis	—	—	0,916	—
	Olivenöl . .	—	0,915	—
	Rüböl . . .	—	0,914	—
	Wein . . .	—	0,900	—
Pflaumenbaumholz	—	—	0,872	—
Kalium . . .	—	—	0,865	—
	Alkohol (100 pc)	—	0,794	—
Rothbuchenholz .	—	—	0,750	—
Eibenbaumholz .	—	—	0,744	—
Birkenholz . .	—	—	0,734	—
	Aether . .	—	0,733	—
Birnbaumholz .	—	—	0,732	—
Weißbuchenholz .	—	—	0,728	—
Steineichenholz .	—	—	0,707	—
Eschenholz . .	—	—	0,670	—
Nußbaumholz .	—	—	0,660	—
Sommereichenholz	—	—	0,650	—
Ahornholz . .	—	—	0,645	—
Cedernholz . .	—	—	0,575	—
Ulmenholz . .	—	—	0,568	—
Lerchenholz . .	—	—	0,563	—
Lindenholz . .	—	—	0,559	—
Edeltannenholz .	—	—	0,555	—
Roßkastanienholz .	—	—	0,551	—
Kiefernholz . .	—	—	0,550	—
Erlenholz . . .	—	—	0,538	—
Saalweidenholz .	—	—	0,529	—
Rothtannenholz .	—	—	0,481	—
Pappelholz . .	—	—	0,390	—
Korkholz . . .	—	—	0,240	—

1 gleiches Cubikmaaß				
des festen Körpers	des flüssigen Körpers	des luftförmigen Körpers	wiegt im Vergleich zu Wasser = 1.	wiegt im Vergleich zu Luft = 1.
—	—	Arsenikdampf .	0,013	10,36
—	—	Joddampf . .	0,011	8,70
—	—	Quecksilberdampf	0,009	6,97
—	—	Schwefeldampf	0,008	6,65
—	—	Brommdampf .	0,007	5,39
—	—	Phosphordampf	0,005	4,32
—	—	Aetherdampf .	$0,003_3$	2,58
—	—	Chlor . . .	$0,003_1$	2,44
—	—	Schwefelsäuredpf.	$0,002_8$	2,21
—	—	Cyangas . .	$0,002_3$	1,81
—	—	Stickoxydul .	$0,001_{98}$	1,527
—	—	Kohlensäure .	$0,001_{97}$	1,520
—	—	Chlorwasserstoff	$0,001_6$	1,25
—	—	Schwefelwasserstoff	$0,001_5$	1,17
—	—	Sauerstoff . .	$0,001_4$	1,102
—	—	Stickstoffoxyd	$0,001_3$	1,039
—	—	Luft (atmosph.)	$0,001_{29}$	1
—	—	Stickstoff . .	$0,001_{267}$	0,976
—	—	Kohlenwasserstoff	$0,001_{265}$	0,974
—	—	Kohlenoxyd .	$0,001_{25}$	0,969
—	—	Kohlenstoff .	$0,001_{08}$	0,836
—	—	Wasserdampf .	0,0008	0,620
—	—	Wasserstoff . .	0,00008	0,068

Zusammendrückbarkeit.

Folgende Körper	werden durch den Druck Einer Atmosphäre um Milliontheilchen ihres ursprünglichen Volumens zusammengedrückt	
	nach Colladon und Sturm.	nach Oerstedt.
Quecksilber	3,38	2,65
Schwefelsäure . . .	30,35	
Salpetersäure . . .	30,55	
Schwefelkohlenstoff . .		31,65
Essigsäure	40,55	
Luftfreies Wasser . .	49,65	46,65
Salpeteräther . . .	69	
Terpentinöl	71,35	
Salzsäureäther . . .	84,25	
Alkohol	94,95	
Schwefeläther 0° . .	131,35	
" 11° . .	148,35 bei 24 Atmosphärendruck	

Längen-Ausdehnung

der Körper	durch die Erwärmung von 0° bis 100° C. um den — Theil
Tannenholz in der Richtung der Faser	0,000380 gleich $\frac{1}{2631}$
Ziegeln	0,000500 „ $\frac{1}{2000}$
Marmor von Carrara	0,000849 „ $\frac{1}{1178}$
Platin	0,000856 „ $\frac{1}{1167}$
Glas, weißes	0,000861 „ $\frac{1}{1161}$
Stahl, weich	0,001079 „ $\frac{1}{926}$
Gußeisen	0,001110 „ $\frac{1}{901}$
Eisen, geschmiedet	0,001167 „ $\frac{1}{856}$
Sandstein	0,001174 „ $\frac{1}{852}$
Stahl, gehärtet	0,001225 „ $\frac{1}{816}$
Gold	0,001552 „ $\frac{1}{645}$
Kupfer	0,001717 „ $\frac{1}{582}$
Silber	0,001909 „ $\frac{1}{524}$
Messing	0,001920 „ $\frac{1}{521}$
Zinkloth (1 Zinn und 2 Kupfer) .	0,002058 „ $\frac{1}{486}$
Hartloth (1 Zink und 2 Kupfer) .	0,002058 „ $\frac{1}{485}$
Zinn	0,002173 „ $\frac{1}{450}$
Weichloth (1 Zinn und 2 Blei) . .	0,002505 „ $\frac{1}{399}$
Blei	0,002848 „ $\frac{1}{351}$
Zink, gegossen	0,002987 „ $\frac{1}{336}$
„ gewalzt	0,003331 „ $\frac{1}{302}$

Specifische Wärme.

Die Wärmemenge, welche die Gewichtseinheit von Wasser aufnehmen muß, um Einen Grad höher erwärmt zu werden, d. i. der freie Raum, den eine bestimmte Wassermenge nöthig hat, damit sich deren Atome so ausdehnen, daß sie bei dem Eintritt ihrer Erkaltung um Einen Grad höher das Thermometer steigen macht, wird Wärmeeinheit (Einheit des Maaßes freien Raumes) genannt. Die verschiedenen Körper haben vermöge ihres verschiedengradigen Ausdehnungs- und Zusammenziehungsvermögens auch eine verschiedene Größe freien Raumes, von Wärmemenge, nöthig, um Einen Grad höhere Temperatur zu erhalten. Im Vergleich zu Wasser verhält sich das Maaß freien Raumes oder die Wärmemenge zur Wärmeeinheit des Wassers bei verschiedenen Körpern wie folgt, — wobei zu bemerken, daß man mit den Zahlen die specifische Wärme der Körper zu bezeichnen pflegt. Die specifische Wärme oder die Wärmecapacität eines Körpers wächst, wie die Ausdehnbarkeit, auch mit der Temperatur.

Des Körpers	specifische Wärme von 0° bis 100° ist:	Des Körpers	specifische Wärme von 0° bis 100° ist:
Wasserstoff	3,8793	Graphit	0,2027
Wasser von 0—100°	1,0127	Anthracit	0,2010
„ „ 0—20°	1	Steinkohle	0,2009
Eis	0,9000	Schwefel	0,2000
Wasserdampf . . .	0,8370	Bergkrystall	0,1894
Schwefeläther . . .	0,5500	Phosphor von 10° – 20°	0,1887
Olivenöl	0,5040	Thon, gebrannter . .	0,1850
Holz	0,5	Glas	0,1770
Oelbildendes Gas . .	0,4777	Eisenoxyd, chemisch reines	0,1737
Terpentinöl	0,4250	„ durch Glühen	
Schwefelsäure, concentrirte	0,3490	gewonnenes . . .	0,1681
Stickstoff	0,2754	Eisenglanz	0,1667
Kohlenoxyd	0,2740	Diamant	0,1469
Luft, atmosphärische .	0,2669	Gußeisen	0,1298
Phosphor	0,2514	Steingut	0,1190
Sauerstoff	0,2421	Stahl	0,1185
Holzkohle	0,2415	Eisen	0,1138
Kohlensäure . . .	0,2187	Zink	0,0956
Kalk, gebrannter . .	0,2170	Kupfer (ausgeglühtes) .	0,0950
Kreide	0,2148	Messing	0,0939
Stickstoffoxyd . . .	0,2145	Kupfer, kalt gehämmert	0,0935
Marmor, körniger .	0,2128	Silber von 0—300° .	0,0611
Kalkspath	0,2046	„ „ 0—100° .	0,0557
Coak	0,2031	Zinn	0,0562

Der Schmelzpunkt		Der Siedepunkt	
der Körper	Grade nach Celsius.	der Körper unter 336,9''' Druck.	Grade nach Celsius.
Quecksilber	— 40,5	Schwefelige Säure .	— 10
Brom	— 25	Aldehyd	+ 21,8
Wasser	0	Blausäure	26,5
Butter	+ 32	Schwefeläther . . .	35,66
Phosphor	+ 42,8	Schwefelkohlenstoff .	46,6
Wachs	61,5	Brom	47
Kalium	58	Alkohol	78,4
Natrium	90	Petroleum	85
Rose'sches Metall { 8 Wismuth, 8 Blei, 3 Zinn	95	Wasser	100
		Kampher	104
		Terpentinöl . . .	106
Selen	102	Jod	176
Jod	107	Phosphor	288
Schwefel	111	Schwefel	316
Zinn	223	Leinöl	316
Blei	262	Schwefelsäure, conc.	325
Wismuth	265	Quecksilber . . .	360
Zink	374		
Antimon	513		
Silber } ungefähr	1000		
Gold } ungefähr	1200		
Weißes Gußeisen . .	1050—1100		
Graues " . .	1100—1200		
Stahl	1300—1400		
Eisen	1500—1600		

Schallleitungsgeschwindigkeit.

Durch den Körper —	wird der Schall in Einer Sekunde — Meter fortgeleitet
Luft, atmosphärische	340,88 Meter
Aether	1039
Alkohol	1157
Chlorwasserstoffäther	1171
Terpentinöl	1276
Wasser	1453
Quecksilber	1484
Salpetersäure	1535
Wasser mit Ammoniak gesättigt .	1842

Lichtbrechungsvermögen

des Körpers	Brechungsexponent bei dem Austritt des Lichtstrahles aus		Absolutes Brechungsvermögen.
	dem leeren Raum.	der atmosphärischen Luft.	
Wasserstoff	1,000138	—	0,000277
Sauerstoff	1,000272	—	0,000544
Luft, atmosphärische . .	1,000292	—	0,000589
Stickstoff	1,000300	—	0,000601
Stickstoffoxyd	1,000303	—	0,000606
Kohlenoxyd	1,000340	—	0,000681
Ammoniak	1,000385	—	0,000771
Sumpfgas	1,000443	—	0,000886
Chlorwasserstoff	1,000449	—	0,000899
Kohlensäure	1,000449	—	0,000899
Stickstoffoxydul	1,000503	—	0,001007
Schwefelwasserstoff . . .	1,000644	—	0,001288
Schwefelige Säure . . .	1,000665	—	0,001331
Oelbildendes Gas . . .	1,000678	—	0,001356
Chlor	1,000772	—	0,001545
Cyangas	1,000834	—	0,001668
Schwefelkohlenstoffgas . .	1,001500	—	0,003010
Schwefelätherdampf . . .	1,001530	—	0,003061
Eis	—	1,307	0,708
Wasser	—	1,336	0,785
Alaunlösung, gesättigt . .	—	1,356	—
Aether	—	1,358	0,844
Alkohol	—	1,374	0,885
Flußspath	—	1,436	—
Schwefelsäure	—	1,440	1,074
Alaun	—	1,457	—
Mohnöl	—	1,463	—
Terpentinöl	—	1,476	1,178

Des Körpers	Brechungsexponent bei dem Austritt des Lichtstrahles aus		Absolutes Brechungsvermögen.
	dem leeren Raum.	der atmosphärischen Luft.	
Obsidian	—	1,488	—
Citronenöl	—	1,527	—
Balsam von Canada . .	—	1,532	—
Crownglas	—	1,533	1,350
Glas, grünes	—	1,543	—
Zucker	—	1,554	1,415
Steinsalz	—	1,557	1,424
Bergkrystall	—	1,562	1,440
Glas, gemeines	—	1,596	—
Balsam von Tolu . . .	—	1,628	—
Topas, gelben	—	1,638	1,683
Cassiaöl	—	1,641	—
Flintglas (1 Blei, 4 Kiesel)	—	1,642	1,696
Boracit	—	1,701	—
Saphir, blauer	—	1,794	2,218
Anisöl	—	1,811	—
Schwefelkrystall, natürlicher	—	2,115	3,473
Diamant	—	2,487	5,185
Bleioxyd, chromsaures . .	—	2,926	—

Elektricitätsleitungswiderstand.

Silber . . . . , .	1,00
Gold	1,24
Kupfer	1,27
Zink	3,84
Messing	3,84
Platin	4,81
Eisen	6,15
Neusilber	11,60
Quecksilber	38,73
Verdünnte Schwefelsäure (220 W., 20 Schwefels.) .	1128000,00
Gesättigte Lösung von Kochsalz	3173000,00
desgl. verdünnt zum 2fachen Volumen	4333000,00
" " " 3fachen "	5721000,00
" " " 4fachen "	7864000,00
Gesättigte Lösung von salpetersaurem Kupfer . . .	11120000,00
Gesättigte Lösung von schwefelsaurem Zink . . .	17330000,00
Gesättigte Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd . .	18450000,00
desgl. verdünnt zum 2fachen Volumen	28820000,00
" " " 4fachen "	48080000,00

Zusammenstellung der bekannten physikalischen Eigenschaften folgender alphabetisch geordneter Körper.

Namen der Körper.	Specifische Schwere.	Zusammen- drückbarkeit.	Ausdehnung in die Länge.	Wärme- capacität.	Schmelz- punkt. (in Celsiusgraden)	Siedepunkt. (in Celsiusgraden)	Schallleitungs- fähigkeit.	Lichtbrechungs- vermögen.	Elektricitäts- leitungs- widerstand.
Achat	2,590	—	—	—	—	—	—	—	—
Aether	0,733	131,35	—	—	—	—	1039	0,844	—
Aetherdampf	0,003	—	—	—	—	—	—	—	—
Ahornholz	0,645	—	—	—	—	—	4250	—	—
Alabaster	2,700	—	—	—	—	—	—	—	—
Alaun	—	—	—	—	—	—	1,120	—	—
Aldehyd	—	—	—	—	—	+ 21,8	1157	—	—
Alkohol	0,794	94,35	—	—	—	78,4	—	0,885	—
Ammoniak	—	—	—	—	—	—	—	0,000886	—
Anisöl	—	—	—	—	—	—	—	0,000771	—
Anthracit	1,800	—	—	0,2010	—	—	—	—	—
Antimon	6,640	—	—	—	+ 513	—	—	—	—
Apfelbaumholz	0,734	—	—	—	—	—	—	—	—
Arsenik	5,672	—	—	—	—	—	—	—	—
Asphalt	1,100	—	—	—	—	—	—	—	—
Balsam von Tolu . . .	—	—	—	—	—	—	—	1,683	—
Barium	4,732	—	—	—	—	—	—	—	—
Basalt	3,310	—	—	—	—	—	—	—	—
Baumwolle	1,270	—	—	—	—	—	—	—	—
Bausteine	2,500	—	—	—	—	—	—	—	—

Namen der Körper.	Specifische Schwere.	Zusammen-drückbarkeit.	Ausdehnung in die Länge.	Wärme-capacität.	Schmelz-punkt. (in Celsiusgraden)	Siedepunkt. (in Celsiusgraden)	Schallleitungs-fähigkeit.	Lichtbrechungs-vermögen.	Elektricitäts-leitungs-widerstand.
Bergkrystall	1,075	—	—	0,1894	—	—	—	1,440	—
Bernstein	1,075	—	—	—	—	—	—	—	—
Bimsstein	0,914	—	—	—	—	—	—	—	—
Birkenholz	0,738	—	—	—	—	—	4896	—	—
Blausäure	—	—	—	—	—	26,5	—	—	—
Blei	11,352	—	$\frac{1}{351}$	—	262	—	—	—	—
Bleioxyd	—	—	—	—	—	—	—	6,0	—
Braunkohle	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—
Brom	2,99	—	—	—	− 25	+ 47	—	—	—
Bromdampf	0,007	—	—	—	—	—	—	—	—
Buchenholz	0,750	—	—	—	—	—	4250	—	—
Buxbaumholz . . .	0,942	—	—	—	—	—	3626	—	—
Butter	0,942	—	—	—	+ 32	—	—	—	—
Campher	0,986	—	—	—	—	104	—	—	—
Cautschouc	0,934	—	—	—	—	—	—	—	—
Cassiaöl	—	—	—	—	—	—	—	1,684	—
Cedernholz	0,575	—	—	—	—	—	—	—	—
Chlor	0,003	—	—	—	—	—	—	0,001545	—
Chlorwasserstoff . . .	0,001	—	—	—	—	—	—	0,000899	—
Chrom	5,900	—	—	—	—	—	—	—	—
Citronenöl	—	—	—	0,2031	—	—	—	—	—

Namen der Körper.	Specifische Schwere.	Zusammendrückbarkeit.	Ausdehnung in die Länge.	Wärmecapacität.	Schmelzpunkt. (in Celsiusgraden)	Siedepunkt. (in Celsiusgraden)	Schallleitungsfähigkeit.	Lichtbrechungsvermögen.	Elektricitätsleitungswiderstand.
Cyan	0,002	—	—	—	—	—	—	0,001668	—
Cyanwasserstoffsäure . .	—	—	—	—	—	—	—	0,000903	—
Dachschiefer	3,000	—	—	—	—	—	—	—	—
Diamant	3,500	—	—	0,1469	—	—	—	5,185	—
Ebenholz	1,187	—	—	—	—	—	4896	—	—
Edeltannenholz . . .	0,555	—	—	—	—	—	6120	—	—
Eibenbaumholz . . .	0,744	—	—	—	—	—	3626	—	—
Eiche	0,650	—	—	—	—	—	3626	—	—
Eis	0,916	—	—	0,9000	—	—	—	0,708	—
Eisen	7,788	—	—	0,1138	1500	—	5566	—	6,15
Eisenglanz	—	—	—	0,1681	—	—	—	—	—
Eisenoxyd	—	—	—	0,1737	—	—	—	—	—
Elfenbein	1,825	—	—	—	—	—	—	—	—
Erde, trockne . . .	1,930	—	—	—	—	—	—	—	—
Erlenholz	0,538	—	—	—	—	—	4896	—	—
Eschenholz	0,670	—	—	—	—	—	—	—	—
Essigsäure	—	40,55	—	—	—	—	—	—	—
Feuerstein	2,580	—	—	—	—	—	—	—	—
Fischbein	—	—	—	—	—	—	2266	—	—
Flachs	1,450	—	—	—	—	—	—	—	—
Flintglas	3,300	—	$\frac{1}{1161}$	0,1770	—	—	5566	1,696	—

Namen der Körper.	Specifische Schwere.	Zusammen-drückbarkeit.	Ausdehnung in die Länge.	Wärme-capacität.	Schmelz-punkt. (in Celsiusgraden)	Siedepunkt. (in Celsiusgraden)	Schallleitungs-fähigkeit.	Lichtbrechungs-vermögen.	Elektricitäts-leitungs-widerstand.
Glas, grünes	2,811	—	—	—	—	—	5566	—	—
Glas, Krystall-	2,892	—	—	—	—	—	—	—	—
Glimmer	2,800	—	—	—	—	—	—	—	—
Gold	19,258	—	$\frac{1}{645}$	—	1200	—	—	—	1,24
Granit	2,700	—	—	—	—	—	—	—	—
Graphit	2,300	—	—	0,2027	—	—	—	—	—
Gußeisen	7,207	—	$\frac{1}{901}$	0,1298	1100	—	—	—	—
Hainbuchenholz	0,728	—	—	—	—	—	4896	—	—
Hartloth	—	—	$\frac{1}{405}$	—	—	—	—	—	—
Holz	—	—	—	0,5	—	—	—	—	—
Holzasche	2,850	—	—	—	—	—	—	—	—
Holzfaser	1,500	—	—	—	—	—	—	—	—
Holzkohle	2,300	—	—	0,2415	—	—	—	—	—
Jod	4,948	—	—	—	107	176	—	—	—
Joddampf	0,011	—	—	—	—	—	—	—	—
Iridium	15,863	—	—	—	—	—	—	—	—
Kalium	0,685	—	—	—	+58	—	—	—	—
Kalk	2,700	—	—	0,2170	—	—	—	—	—
Kalkspath	—	—	—	0,2046	—	—	—	—	—
Kanonenmetall	9,235	—	—	—	—	—	—	—	—
Kiefernholz	0,550	—	—	—	—	—	—	—	—

Namen der Körper.	Specifische Schwere.	Zusammen-drückbarkeit.	Ausdehnung in die Länge.	Wärme-capacität.	Schmelz-punkt. (in Celsiusgraden)	Siedepunkt. (in Celsiusgraden)	Schallleitungs-fähigkeit.	Lichtbrechungs-vermögen.	Elektricitäts-leitungs-widerstand.
Kiesel	2,63	—	—	—	—	—	—	—	—
Kobalt	8,513	—	—	—	—	—	—	—	—
Kochsalzlösung . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	3173000,00
Kohle	0,440	—	—	—	—	—	—	—	—
Kohlenoxyd	0,00125	—	—	0,2740	—	—	—	0,000681	—
Kohlensäure	0,00197	—	—	0,2187	—	—	—	0,001331	—
Kohlenstoff	0,00108	—	—	—	—	—	—	—	—
Kohlenwasserstoff . . .	0,001265	—	—	0,4777	—	—	—	0,001356	—
Kork	0,240	—	—	—	—	—	—	—	—
Kreide	1,800	—	—	0,2148	—	—	—	—	—
Kupfer	8,788	—	$\frac{1}{582}$	0,0950	—	—	4080	—	1,27
Lava	0,563	—	—	—	—	—	—	—	—
Leinöl	0,940	—	—	—	—	317	—	—	—
Lindenholz	0,550	—	—	—	—	—	5000	—	—
Luft	0,00129	—	—	0,2669	—	—	340	0,000589	—
Marmor	2,8	—	$\frac{1}{1178}$	0,2128	—	—	—	—	—
Mauerwerk (trocken) .	1,593	—	—	—	—	—	—	—	—
Meerwasser	1,027	—	—	—	—	—	—	—	—
Messing	8,800	—	$\frac{1}{521}$	0,0939	—	—	3623	—	3,84
Mohnöl	0,929	—	—	—	—	—	—	—	—
Molybdän	8,625	—	—	—	—	—	—	—	—

Namen der Körper.	Specifische Schwere.	Zusammen- drückbarkeit.	Ausdehnung in die Länge.	Wärme- capacität.	Schmelz- punkt. (in Celsiusgraden)	Siedepunkt. (in Celsiusgraden)	Schallleitungs- fähigkeit.	Lichtbrechungs- vermögen	Elektricitäts- leitungs- widerstand.
Natrium	0,972	—	—	—	90	—	—	—	—
Neusilber	8,563	—	—	—	—	—	—	—	11,60
Nickel	8,477	—	—	—	—	—	—	—	—
Nußbaumholz	0,660	—	—	—	—	—	3626	—	—
Olivenöl	0,915	—	—	0,5040	—	—	—	—	—
Osmium	10,000	—	—	—	—	—	—	—	—
Palladium	12,000	—	—	—	—	—	—	—	—
Pappelholz	0,390	—	—	—	—	—	—	—	—
Pech	1,072	—	—	—	—	—	—	—	—
Perlen	2,750	—	—	—	—	—	—	—	—
Petroleum	—	—	—	—	—	85	—	—	—
Pflaumenholz	0,872	—	—	—	—	—	3626	—	—
Platin	21,450	—	$\frac{1}{1167}$	—	—	—	—	—	4,81
Pockholz	1,263	—	—	—	—	—	—	—	—
Porzellan	2,319	—	—	—	—	—	—	—	—
Phosphor	1,770	—	—	0,2514	42,8	288	—	—	—
Phosphordampf . . .	0,005	—	—	—	—	—	—	—	—
Phosphorwasserstoff . .	—	—	—	—	—	—	—	0,001579	—
Quajak	1,342	—	—	—	—	—	—	—	—
Quarz	2,652	—	—	—	—	—	—	—	—
Quecksilber, gefrorenes .	15,698	—	—	—	— 40,5	—	—	—	—

Namen der Körper.	Specifische Schwere.	Zusammendrückbarkeit.	Ausdehnung in die Länge.	Wärmecapacität.	Schmelzpunkt. (in Celsiusgraden)	Siedepunkt. (in Celsiusgraden)	Schallleitungsfähigkeit.	Lichtbrechungsvermögen.	Elektricitätsleitungswiderstand.
Quecksilber, flüssig . .	13,596	3,38	—	—	—	360	1484	—	38,73
„ Dampf .	0,009	—	—	—	—	—	—	—	—
Rhodium	11,000	—	—	—	—	—	—	—	—
Roßkastanienholz . . .	0,551	—	—	—	—	—	—	—	—
Rothtannenholz . . .	0,181	—	—	—	—	—	—	—	—
Rüböl	0,914	—	—	—	—	—	—	—	—
Saalweidenholz . . .	0,529	—	—	—	—	—	5340	—	—
Salpeteräther . . .	—	69,00	—	—	—	—	—	—	—
Salpetergas	—	—	—	—	—	—	—	0,000606	—
Salpetersäure . . .	1,500	30,55	—	—	—	—	1535	—	—
Salzsäure	1,200	—	—	—	—	—	1171	—	—
Salzsäureäther . . .	—	84,25	—	—	—	—	—	0,002191	—
Sand, trockner . . .	1,640	—	—	—	—	—	—	—	—
Sandstein	2,400	—	—	—	—	—	—	—	—
Saphir	3,900	—	—	—	—	—	—	2,218	—
Sauerstoff	0,0014	—	—	0,2421	—	—	—	0,000544	—
Schwefel	2,072	—	—	—	111	316	—	—	—
Schwefeläther . . .	0,733	131,35	—	0,5500	—	35,66	—	0,003061	—
Schwefeldampf . . .	0,008	—	—	—	—	—	—	—	—
Schwefelkrystall . . .	—	—	—	—	—	—	—	3,473	—
Schwefelige Säure . .	—	—	—	—	—	— 10	—	0,001331	—

Namen der Körper.	Specifische Schwere.	Zusammendrückbarkeit.	Ausdehnung in die Länge.	Wärmecapacität.	Schmelzpunkt. (in Celsiusgraden)	Siedepunkt. (in Celsiusgraden)	Schallleitungsfähigkeit.	Lichtbrechungsvermögen.	Elektricitätsleitungswiderstand.
Schwefelkohlenstoff	—	31,65	—	—	—	+ 46,6	—	0,003010	—
Schwefelsäure	1,850	30,35	—	0,3490	—	325	—	1,074	—
Schwefelsäure, verdünnte	—	—	—	—	—	—	—	—	1128000,00
Schwefelsäure-Dampf	0,0028	—	—	—	—	—	—	—	—
Schwefelwasserstoff	0,0015	—	—	—	—	—	—	0,001288	—
Schwerspath	1,560	—	—	—	—	—	—	—	—
Seide	1,56	—	—	—	—	—	—	—	—
Silber	10,750	—	—	—	1000	—	3060	—	1,0
Smaragd	2,750	—	—	—	—	—	—	—	—
Stahl	7,919	—	$\frac{1}{926}$	0,1185	1400	—	5566	—	—
Stärkemehl	1,560	—	—	—	—	—	—	—	—
Steineichenholz	0,707	—	—	—	—	—	3626	—	—
Steingut	—	—	—	0,1190	—	—	—	—	—
Steinkohle	1,50	—	—	0,2009	—	—	—	—	—
Steinsalz	2,30	—	—	—	—	—	—	1,424	—
Stickstoff	0,001267	—	—	0,2754	—	—	—	0,000601	—
Stickstoffoxyd	0,0013	—	—	0,2145	—	—	—	0,000606	—
Stickstoffoxydul	0,00198	—	—	—	—	—	—	—	—
Sumpfgas	—	—	—	—	—	—	—	0,000886	—
Talg	0,942	—	—	—	—	—	—	—	—
Tannenholz	0,555	—	$\frac{1}{2631}$	—	—	—	6120	—	—
Tellur	6,258	—	—	—	—	—	—	—	—

Namen der Körper.	Specifische Schwere.	Zusammen-drückbarkeit.	Ausdehnung in die Länge.	Wärme-capacität.	Schmelz-punkt. (in Celsiusgraden)	Siedepunkt. (in Celsiusgraden)	Schallleitungs-fähigkeit.	Lichtbrechungs-vermögen.	Elektricitäts-leitungs-widerstand.
Terpentinöl	—	71,35	—	0,4250	—	116	1276	—	—
Thon	—	—	—	0,1850	—	—	3740	—	—
Titan	5,281	—	—	—	—	—	—	—	—
Topas	3,560	—	—	—	—	—	—	—	—
Ulmenholz	0.568	—	—	—	—	—	4896	—	—
Wachs	0,969	—	—	—	61,5	—	—	—	—
Waizen	1,346	—	—	—	—	—	—	—	—
Wallrath	0,943	—	—	—	—	—	—	—	—
Wasser	1,000	49,65	—	1,0127	0,0	100	1453	0,785	—
Wasserdampf	0,0008	—	—	0,8370	—	—	—	—	—
Wasserstoff	0,00008	—	—	3,8790	—	—	—	0,000277	—
Weichloth	—	—	$\frac{1}{399}$	—	—	—	—	—	—
Wein	0,900	—	—	—	—	—	—	—	—
Wismuth	9,822	—	—	—	265	—	—	—	—
Wolfram	17,300	—	—	—	—	—	—	—	—
Ziegel	2,2	—	$\frac{1}{2000}$	—	—	—	—	—	—
Zink	7,191	—	$\frac{1}{336}$	0,0956	374	—	—	—	3,84
Zinkloth	—	—	$\frac{1}{485}$	—	—	—	—	—	—
Zinn	7,291	—	$\frac{1}{450}$	0,0562	223	—	2550	—	—
Zinnober	8,090	—	—	—	—	—	—	—	—
Zucker	1,606	—	—	—	—	—	—	1,415	—

Namen- und Sachregister.

Berichtigungen.

Seite	1	Zeile	1	soll	stehen	φυσικη statt φυσικα.
„	16	„	29	„	„	Entzündungstemperatur statt Ausdehnungstemperatur.
„	19	„	4	„	„	größere statt kleinere.
„	195	„	7	„	„	zieht statt stößt.
„	239	„	5	„	„	Wasserstoff statt Sauerstoff.
„	239	„	6	„	„	Sauerstoff statt Wasserstoff.
„	239	„	16	„	„	Wasserstoffes statt Sauerstoffes.
„	239	„	17	„	„	Sauerstoffes statt Wasserstoffes.
„	239	„	31	„	„	dieser an dem positiven, jene an dem negativen statt jene a. d. positiven, dieser a. d. negativen.